

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Univerzitní studijní programy

**Elektronický tester-simulátor dvoubodové lambda regulace zážehových
spalovacích motorů**

**Electronics Tester for Point-to-point Lambda Regulation of Petrol
Combustion Engine**

Zadání bakalářské práce

Student:

Jiří Takáč

Studijní program:

B3943 Mechatronika

Studijní obor:

3906R007 Automobilová elektronika

Téma:

Elektronický tester-simulátor dvoubodové lambda regulace zážehových spalovacích motorů
Electronics Tester for Point-to-point Lambda Regulation of Petrol Combustion Engine

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte obecnou úvodní rešerši z oblasti teorie lambda regulace u spalovacích motorů.
2. Dle instrukcí vedoucího bakalářské práce proveďte návrh a praktickou realizaci elektronického testeru-simulátoru dvoubodové lambda regulace zážehových spalovacích motorů.
3. Proveďte praktické ověření realizovaného přístroje a navrhnete laboratorní úlohu s využitím realizovaného přístroje.

Seznam doporučené odborné literatury:

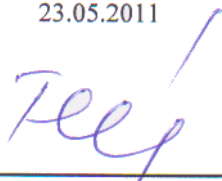
- VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6
- VLK, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9
- ŠTĚRBA, P.: Elektrotechnika a elektronika automobilů. Computer press, Praha, 2004
- ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 str., ISBN 1-4018-4831-1
- RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3
- BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996-2009

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

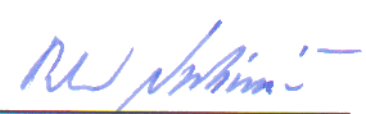
Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Petr Noskiewi, CSc.
prorektor pro studium

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Šimoníka, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne

vlastnoruční podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za odborné připomínky a rady, kterými mi dopomohl k vypracování této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá lambda regulací u spalovacích motorů a následným vytvořením simulátoru dvoubodové lambda sondy. Celá práce se skládá ze tří částí, kde v první části je rozebrána teorie lambda sond, jejich principy a důvody použití. Druhá část je zaměřena na realizaci samotného hardwaru simulátoru lambda sondy a třetí část se zabývá zpracováním laboratorní úlohy.

Abstrakt

This Bachelor thesis deals with the lambda control in combustion engines and creating a binary lambda sensor simulator. In the first part is discussed the theory of lambda sensors, their principles and reasons for use. The second part focused on realization of the hardware itself binary lambda sensor simulator and the third part is focused on creating laboratory work.

Klíčová slova

Lambda sonda, lambda regulace, CPU, simulátor

Key words

Lambda sensor, lambda regulation, CPU, simulator

Seznam použitých zkratk

C	–	kondenzátor
CPU	–	Central Procesor Unit (centrální procesorová jednotka)
D	–	digitální vstup/výstup
DIS	–	displej
DP	–	dolní propust
E	–	povolovací pin
IC	–	integrovaný obvod
K	–	konektor
LCD	–	Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)
LED	–	Light Emitting Diode (světlo vyzařující dioda)
OK	–	optočlen
P	–	trimr
PWM	–	Pulse Width Modulation (pulsně šířková modulace)
R	–	rezistor
RAM	–	Random Access Memory (paměť s libovolným přístupem)
RISC	–	Reduced Instruction Set Computer (redukovaná instrukční sada)
RS	–	pin výběru registru

1 Obsah

1	Obsah.....	6
2	Úvod.....	8
3	Lambda sonda.....	10
3.1	Základní princip	10
3.2	Rozdělení.....	11
3.2.1	Odporová dvoubodová lambda sonda	11
3.2.2	Napěťová dvoubodová lambda sonda	12
3.2.3	Širokopásmová lambda sonda	14
3.3	Dvoubodová napěťová sonda	16
3.3.1	Generované napětí	16
3.3.2	Chybové stavy	17
3.3.3	Příklady mechanického poškození sondy	18
4	Řízení chodu motoru	19
4.1	Řízení v uzavřené smyčce	20
5	Elektronický simulátor dvoubodové lambda sondy	21
5.1	Popis zařízení	21
5.1.1	Popis mikroprocesoru	22
5.1.2	Generování napětí sondy	23
5.1.3	Vstupní obvod pro měření vyhřívání	25
5.1.4	Pomocné obvody	26
5.2	Popis ovládacího programu	27
5.2.1	Ruční zadání hodnot	29
5.2.2	Simulace startu	30
5.2.3	Simulace akcelerace	31
5.3	Generování napětí a měření vyhřívání	31
5.3.1	Generování napětí.....	31
5.3.2	Měření vyhřívání	32
6	Ověření funkce simulátoru měřením	34
6.1	Ověření ručního zadávání hodnot.....	34

6.2	Režim akcelerace.....	39
6.3	Simulace startu	41
6.4	Měření vyhřívání	44
7	Závěr.....	46
8	Použitá literatura.....	47
9	Přílohy	48

2 Úvod

V posledních letech dochází k prudkému nárůstu elektroniky v automobilech a to především z důvodu jak úspory paliva a tím i menším emisím, tak vzhledem ke zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti. Aby docházelo k menším emisím škodlivých látek ve výfukových plynech, muselo dojít k lepšímu řízení spotřeby paliva. Díky tomuto požadavku vyvinula firma BOSCH v roce 1976 senzor pro snímání obsahu kyslíku ve spalínách. Tento senzor se jmenuje lambda sonda.

V dnešní době je lambda sonda nedílnou součástí řízení spalovacích motorů. Využívá se především dvou lambda sond, kde je jedna sonda umístěna těsně za vyústěním výfukového potrubí z motoru, tedy před katalyzátorem. Tato sonda bývá většinou širokopásmová. Druhá sonda se umísťuje za katalyzátor, kde monitoruje především jeho správnou funkčnost a je jen dvoubodová. Oba typy sond budou dále rozebrány. [1]

Tím, že je sonda umístěna co nejbližší motoru, může spolehlivě monitorovat obsah kyslíku ve spalínách a podle toho generovat na svém výstupu patřičné napětí. Řídící jednotka motoru toto napětí měří a díky tomu může dle potřeby upravovat množství vstřikovaného paliva a požadovanou, respektive optimální hodnotu. Touto hodnotou se myslí takzvaný Stechiometrický poměr, který udává, že na 14,7 kilogramů vzduchu připadne 1 kilogram paliva. Tento stav je také označován jako $\lambda = 1$. Odtud získala tato sonda svůj název, podle řeckého písmene lambda, který představuje součinitel přebytku vzduchu. [2]

V roce 1970, kdy Úřad pro Ochranu Životního prostředí (EPA - Environmental Protection Agency) vydal přísné předpisy na emise výfukových plynů, musely být vozy vybaveny katalyzátory a pro jejich správnou funkci monitorovat obsah kyslíku ve výfukovém potrubí. Což znamenalo nasazení lambda sondy. První automobilka, která použila lambda sondu, byla Volvo a poté následovaly ostatní automobilky. [3]

Prostřednictvím vývoje lambda sondy se stávají katalyzátory mnohem účinnější a méně poruchové. Tím dochází ke snížení emisí o 50%. Od roku 1985 lambda sonda již nemusí být montována v přímé blízkosti motoru. Zahřívání umožňuje udržet pro snímač teplotu vyšší než 350 stupňů Celsia. [1]

Z počátku měla sonda pouze jeden vodič, který byl signálový, s nástupem vyhřívání přibyl další vodič (zem byla společná) nebo dva vodiče, které sloužili k připojení vyhřívání, jako signálová zem byla použita kostra vozidla. Ve druhé polovině roku 1985 byl přidán i čtvrtý vodič, kterým byla signálová zem. To umožnilo jednodušší kontrolu přístroje a snadnější rozpoznání případné poruchy lambda sondy. [1]

V roce 1990 byla vyvinuta planární lambda sonda s vícevrstevnými keramickými fóliemi, která se zahřeje na provozní teplotu dvakrát rychleji. To snížilo emise v dříve kritické fázi studeného startu o dalších 50%. [1]

S nástupem palubní diagnostiky (OBD – On Board Diagnostics) v roce 1998 začaly být vozy vybaveny dvěma sondami a to před a za katalyzátorem pro lepší regulaci emisí. Vozy s motory typu V6, V8 a podobně, jsou vybaveny dokonce až čtyřmi sondami, dvě pro každou řadu válců. [3]

Z důvodů ještě přesnějšího měření výfukových plynů jsou od roku 1999 k dispozici 2 měřicí články – nástup širokopásmové sondy. Pomocí planárních širokopásmových lambda sond je poprvé možné regulovat a řídit i plynové a dieselové motory. [1]

Využití tohoto snímače si našlo i závodní odvětví, kde jezdecké týmy mohly monitorovat co se přesně děje v motorech a získat tak z nich co největší výkon, aniž by došlo k jejich poškození. [3]

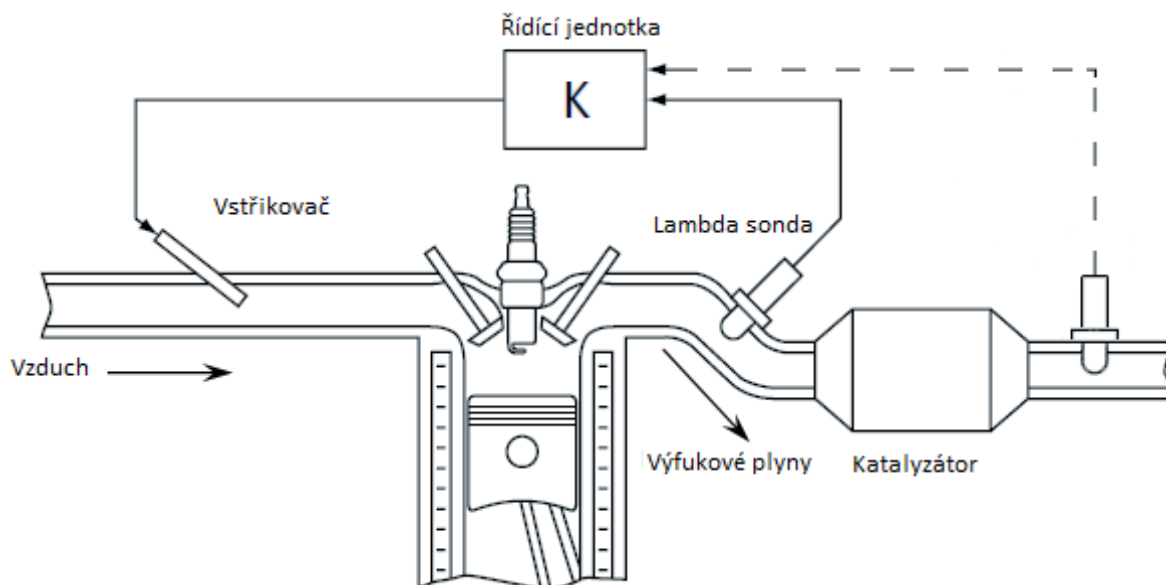


Obr. 1 Příklad provedení lambda sondy

3 Lambda sonda

3.1 Základní princip

Základem lambda sondy je Nernstův článek, který vynalezl Němec, Walter Nernst, v roce 1899. Nernstův článek je plynotěsný keramický elektrolyt, který se stane elektricky vodivým při teplotě nad 330 °C. Nernstův článek propouští ionty kyslíku směrem ven z článku, čímž dochází ke generaci napětí. Velikost napětí závisí na rozdílu iontů kyslíku uvnitř a vně článku. Odtud vyplývá, že lambda sonda je galvanický článek s pevným elektrolytem. Pevný elektrolyt je tvořen oxidem zirkoničitým ZrO_2 . Tato keramická vrstva je pokryta z obou stran platinovou vrstvou. Celý článek je umístěn ve výfukovém potrubí a vnější platinová vrstva je v kontaktu se spaliny a druhá s referenčním vzduchem. Spalováním směsi dochází také ke spalování kyslíku, respektive jeho přeměně na jiné sloučeniny. Při spalování se však všechny kyslík nespálí a jeho malé množství je přítomno i ve spalínách. Díky tomu, že množství kyslíku v referenční komůrce je 21% a ve spalínách je množství mnohem menší, dochází k toku iontů kyslíku z referenční komůrky do výfukového potrubí. Tímto vzniká rozdíl potenciálů a na výstupu ze sondy (na jednotlivých platinových vrstvách) naměříme napětí. Čím bohatší směs se spaluje, tím méně obsahuje ionty kyslíku a dochází tak k většímu přesunu iontů z referenční komůrky. Bohatost směsi se určuje podle obsahu paliva, to znamená, že je-li ve směsi více paliva než udává stechiometrický poměr je směs bohatá a naopak, je-li méně paliva, je směs chudá. Dochází-li k většímu přesunu iontů, generuje se na kontaktech sondy také větší napětí. Toto napětí je přímo úměrné počtu přesunutých iontů kyslíku. [3]



Obr. 2 Umístění lambda sondy

3.2 Rozdělení

Lambda sonda se dělí na tři části a to podle konstrukce, funkčnosti a vyhřívání.

1. Rozdělení dle funkčnosti:

- odporové,
- napěťové,
- širokopásmové.

2. Rozdělení dle konstrukce:

- prstencové,
- planární.

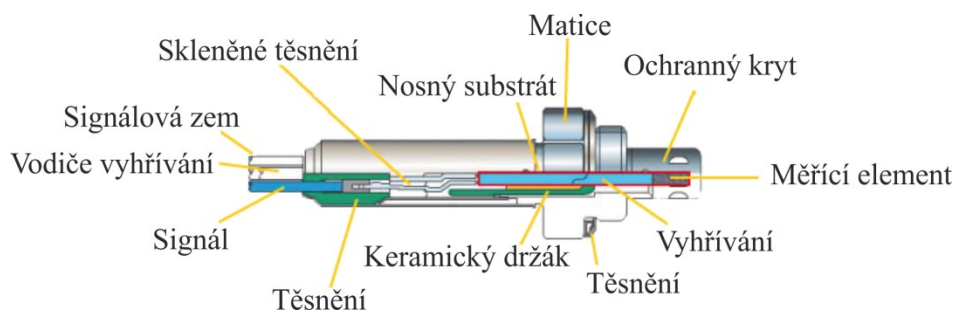
3. Rozdělení dle vyhřívání:

- vyhřívané,
- bez vyhřívání.

3.2.1 Odporová dvoubodová lambda sonda

Odporová nebo také titanová lambda sonda je jedním z prvních typů. Tato sonda mění svůj odpor v závislosti na obsahu kyslíku ve spalínách. Měřením tohoto odporu získá řídicí jednotka informaci o tom, v jakém pracovním stavu se nachází motor. Při vysoké koncentraci kyslíku ($\lambda > 1$) je má sonda větší odpor. S touto informací řídicí jednotka ví, že motor spaluje chudou směs. Vyskytuje-li se ve spalínách méně kyslíku, tedy spaluje se bohatá směs, je odpor sondy malý. [4]

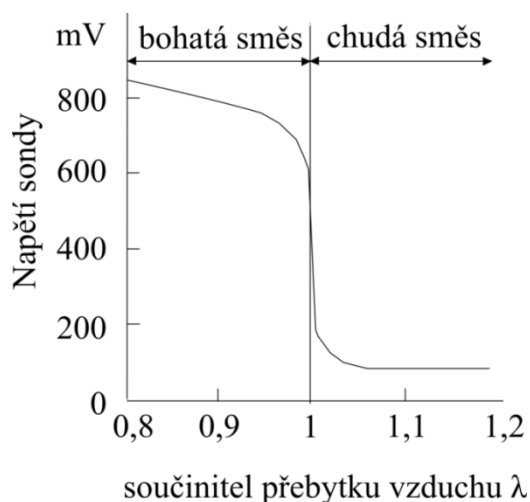
Pracovní teplota sondy je okolo 700 °C. Překročí-li její teplota hodnotu 850 °C, může dojít k jejímu zničení. Její výhodou je krátká reakční doba a nepotřeba referenčního vzduchu. Konstrukčně se tato sonda vyrábí pouze v prstencovém provedení. Snímací element je vyroben z keramického oxidu kovu TiO_2 (oxid titaničitý). Elektrody a vyhřívání jsou naneseny na substrát z oxidu hliníku a oxid titaničitý je uložen na elektrodách. Ochranný kovový plášť umožňuje volný průchod plynů ve spalínách k měřicímu elementu a chrání samotný element před pevnými částicemi a vodou, která se může vyskytovat ve spalínách. Vodní výpary mohou kondenzovat na stěnách potrubí, a pokud by došlo ke kontaktu s horkou keramickou vrstvou, mohly by ji poškodit vlivem teplotního šoku (prudká změna teploty). [5]



Obr. 3 Konstrukce odporové sondy

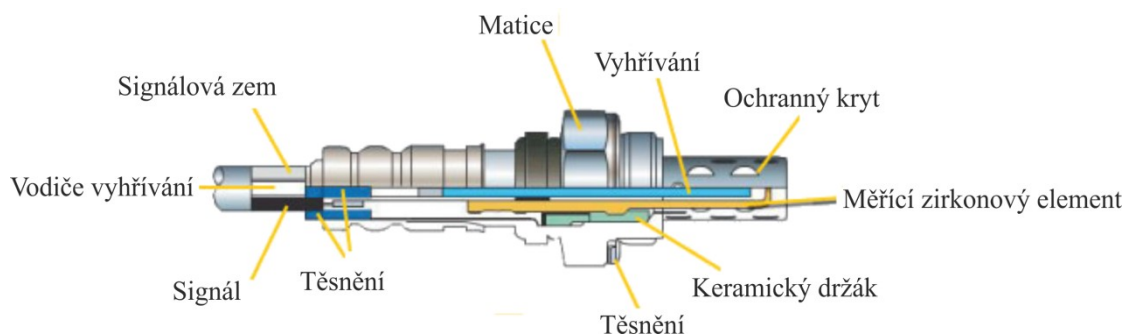
3.2.2 Napěťová dvoubodová lambda sonda

Princip funkce této sondy je popsán výše (kap. 4.1). Název „dvoubodová sonda“ má především proto, že její výstupní napětí nabývá dvou hodnot při lambda regulaci. Tyto hladiny napětí odpovídají, zda se spaluje chudá, nebo bohatá směs. Bohatě směsi odpovídá výstupní napětí 900 mV, jelikož obsah kyslíku ve spalínách je velmi malý, téměř nulový, vzniká tak velký rozdíl potenciálů. Naopak dochází-li ke spalování chudé směsi, generuje sonda napětí pouze 100 mV. Tyto úrovně napětí generuje jen díky samotné regulaci množství vstřikovaného paliva. Sonda je schopna generovat napětí i mezi těmito dvěma body, kde například Stechiometrickému poměru odpovídá napětí 450 mV. Průběh generovaného napětí je patrný z následujícího grafu, kde na vodorovné ose je hodnota lambda a na svislé ono generované napětí. Můžeme si všimnout velmi úzkého pásma v oblasti $\lambda = 1$, kde dochází k prudké změně napětí. [2]



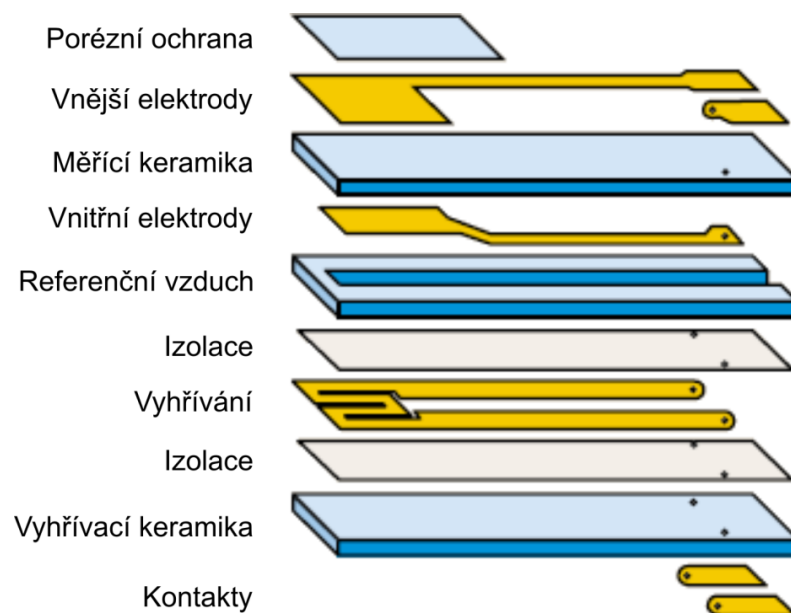
Obr. 4 Průběh generovaného napětí sondy

Při teplotě nad 350 °C se stává keramická vrstva tvořena oxidem zirkoničitým vodivá pro ionty kyslíku. U prvních sond se jejich provozní teplota dosahovala pouze ohřevem spaliny. S postupem vývoje byla tato doba nedostačující a začalo se přidávat do těla sondy vyhřívací tělísko, které zajistí rychlejší nástup sondy na provozní teplotu. Existují dvě konstrukční provedení, prstencová a planární. Konstrukce prstencové sondy je shodná s konstrukcí odporové sondy. Na obrázku 5. vidíme příklad konstrukce prstencové sondy. [5]

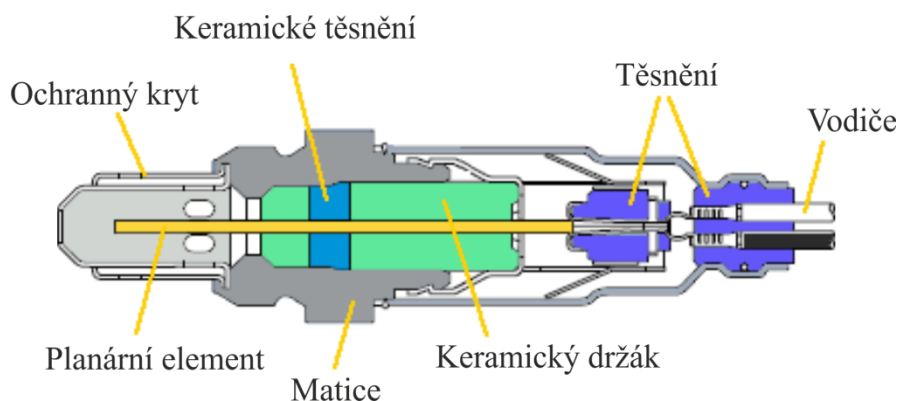


Obr. 5 Konstrukce prstencové sondy

U planárního provedení sondy je funkce naprosto shodná s prstencovým provedením, rozdíl je pouze v uspořádání jednotlivých elementů, které jsou nalaminátované na sebe. Přehled jednotlivých vrstev je na obrázku 6.



Obr. 6 Uspořádání jednotlivých vrstev planární sondy



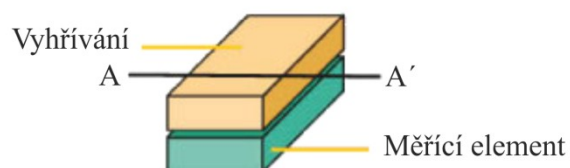
Obr. 7 Konstrukce planární sondy

3.2.3 Širokopásmová lambda sonda

Širokopásmová sonda je schopna měřit obsah kyslíku od $\lambda = 0,7$ až po atmosférický obsah kyslíku, proto se používá jako univerzální snímač pro aplikace řízené na $\lambda = 1$ a pro jiné rozsahy. Používají se pro řízení zážehových a vznětových motorů. V konektoru sondy je také zapojen kalibrační trimovací rezistor, aby bylo možné přesně upravit charakteristiku pro jakoukoli sondu. Tento rezistor je velmi důležitý pro správný chod sondy, a proto je výměna konektoru zakázána. [6]

Vzhledem k jejich unikátní funkci, mohou pracovat pouze se speciální řídicí jednotkou navrženou tak, aby mohla spolehlivě ovládat napájení dvou článků, čerpací článek a potřebný vyhřívací element. Sonda se skládá z měřicího článku, který je totožný s napětovou sondou, měřicí komůrky, čerpacího článku a vyhřívání. Schematické znázornění funkce sondy je na obrázku 8. Spaliny se přes porézní difúzní kanálek dostávají do měřicí komůrky, kde je v nich měřen obsah kyslíku měřícím článkem. Měřicí článek vytváří napětí podle počtu iontů kyslíku stejně jako napětová sonda. Toto napětí je porovnáno s referenčním napětím o hodnotě 450 mV, což odpovídá stechiometrickému poměru. Podle toho, zda je generované napětí větší nebo menší, protéká proud I_p z nebo do operačního zesilovače. Tímto proudem poté dochází na čerpacím článku k čerpání iontů kyslíku buď z měřicí komůrky ven do výfukového potrubí, nebo z výfukového potrubí do měřicí komůrky. Tímto procesem se snaží řídicí elektronika udržet v měřicí komůrce stechiometrický poměr. Pokud je obsah kyslíku v měřicí komůrce roven stechiometrickému poměru, tedy $\lambda = 1$, je výstupní proud nulový. Průběh řídicího (výstupního) proudu je na obrázku 9.

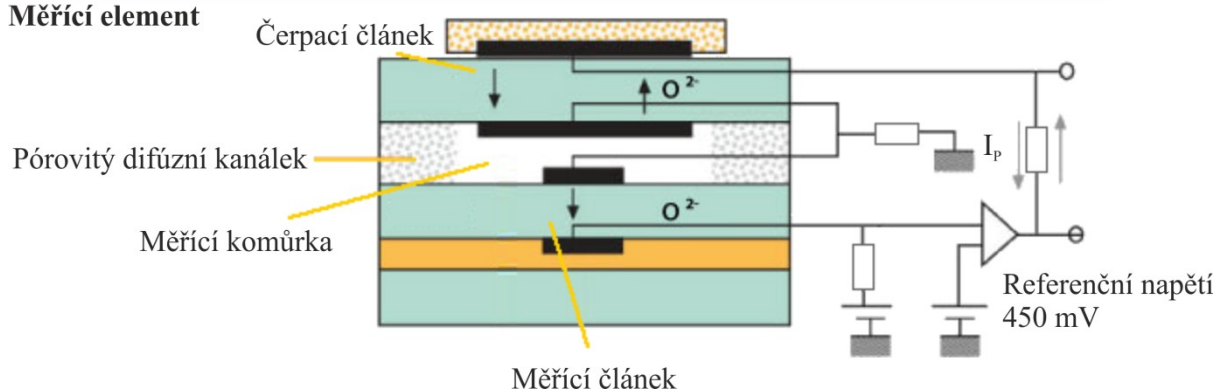
Celkové uspořádání



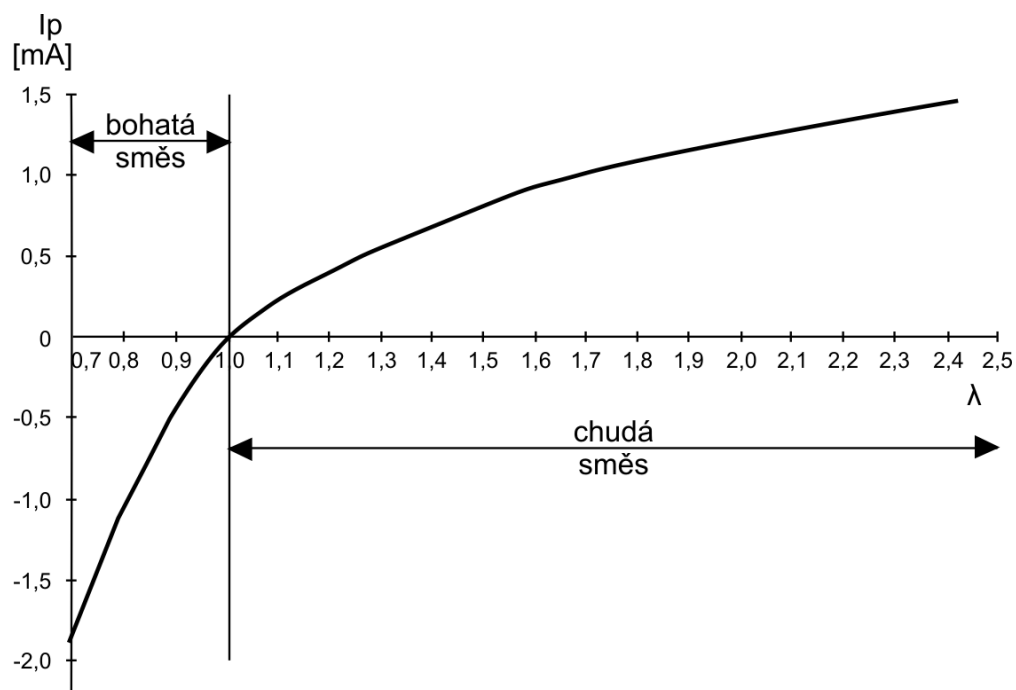
Vyhřívání



Měřicí element



Obr. 8 Struktura širokopásmové sondy



Obr. 9 Průběh proudu širokopásmové sondy



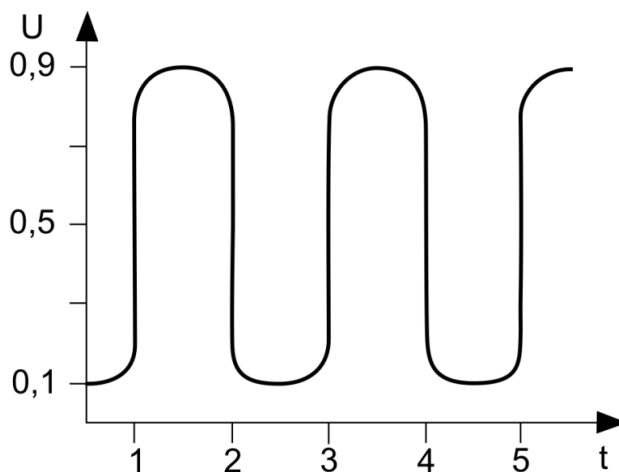
Obr. 10 Provedení širokopásmové sondy firmy BOSCH

3.3 Dvoubodová napěťová sonda

Nyní si popíšeme, jak by měl vypadat průběh napětí generovaný dvoubodovou lambda sondou, její možné chybové stavy a příklady poškození sondy.

3.3.1 Generované napětí

Průběh generovaného napětí sondy, která je umístěna před katalyzátorem, neustále kmitá mezi 100 a 900 mV. Doba jednotlivých pulsů je závislá na řízení řídicí jednotky, jelikož udává kdy je spalovaná chudá a bohatá směs.



Obr. 11 Idealizovaný průběh generovaného napětí lambda sondou

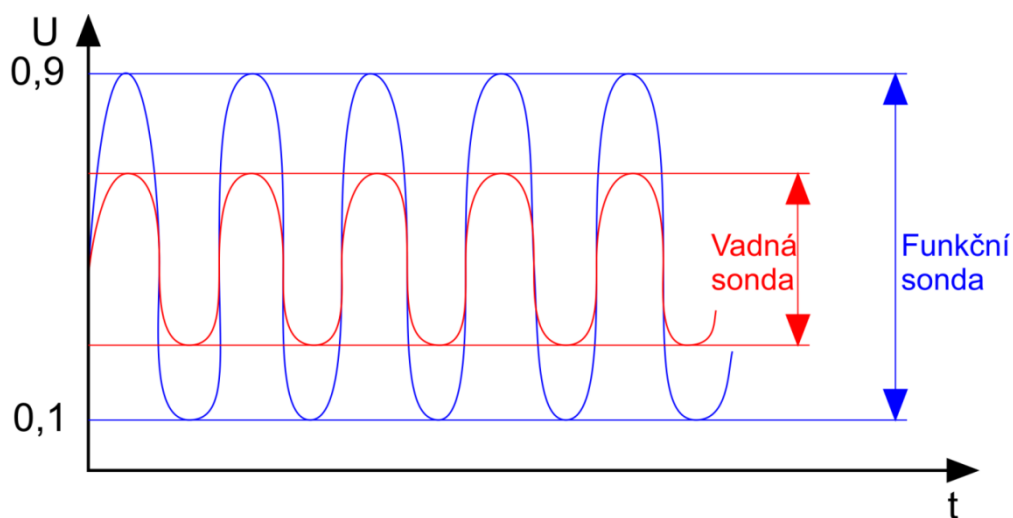
S rostoucí rychlostí a otáčkami se frekvence změny signálu zvětšuje, ale rozkmit napětí zůstává stále stejný. Při deceleraci vozidla dává sonda informaci o chudé směsi.

Vzhledem k tomu, že normy si již vyžadují dvě sondy, kde druhá je umístěna za katalyzátorem, kde monitoruje jeho správnou funkci. Výstupem z této sondy je pouze konstantní napětí o velikosti 450 mV. Pokud se rozbije katalyzátor, nebo je už starý a neplní svou funkci, může se

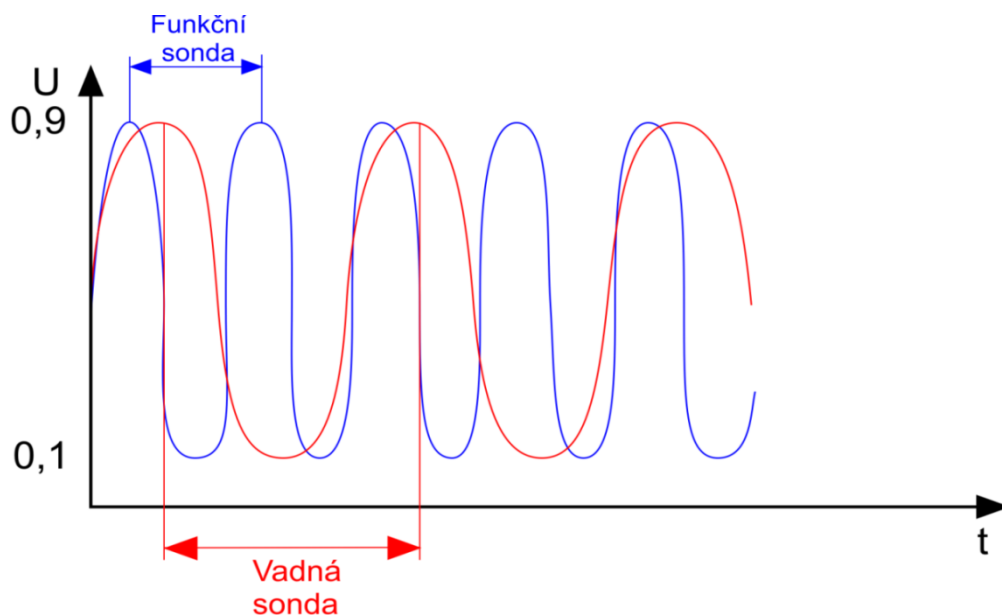
toto napětí zvednout, nebo být dokonce totožné s první sondou (toto nastane tehdy, je-li katalyzátor rozpadlý).

3.3.2 Chybové stavy

Mezi nejběžnější chybové stavy patří malý rozkmit napětí signálu a velmi pomalá reakce. Toto se projevuje především, je-li sonda studená, nebo má ucpané kanálky, kudy prochází ionty kyslíku, karbonem. Na následujících průbězích je zobrazena malý rozkmit napětí výstupního signálu (Obr. 12) a pomalá reakční doba (Obr. 13).



Obr. 12 Rozkmit napětí funkční a vadné sondy

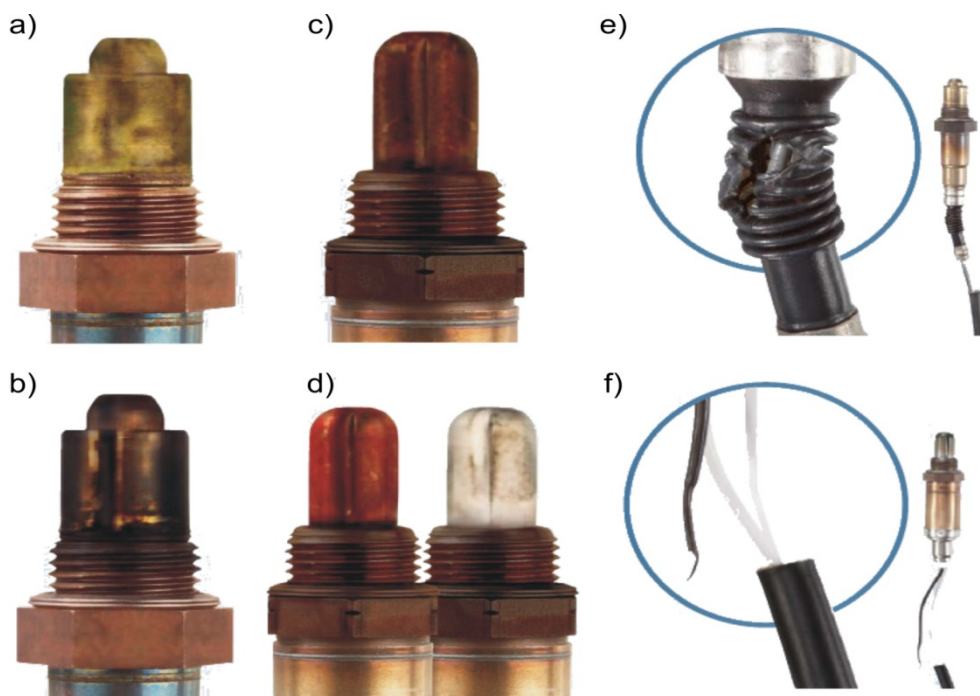


Obr. 13 Odezva funkční a vadné sondy

Obě tyto závady se mohou projevovat současně, například při startu motoru, kdy je sonda ještě studená reaguje pomalu a rozkmit napětí je malý.

3.3.3 Příklady mechanického poškození sondy

Nejčastějším mechanickým poškozením je zanesení kanálků karbonem, což je příčinou příliš bohaté směsi (Obr. 14c). Sonda se také může zničit, dostane-li se do spalovací komory olej (Obr. 14b) nebo chladicí kapalina (Obr. 14a). Pokud se přidávají nějaká aditiva do paliva (Obr. 14d), může také docházet ke znečištění sondy. Mezi příčiny, kdy řídicí jednotka hlásí chybu lambda sondy, patří především poškození vodičů (Obr. 14f). K jejich poškození může dojít tím, že se do oblasti motoru dostane při jízdě cizí těleso. Na Obr. 14e je vidět poškození ochranného krytu vodičů, který zabraňuje proniknutí vody (vlhkosti) na kontakty, které mohou časem zkorodovat a vibrací motoru či nerovnostmi na vozovce se odlomit.



Obr. 14 Poškození sondy

4 Řízení chodu motoru

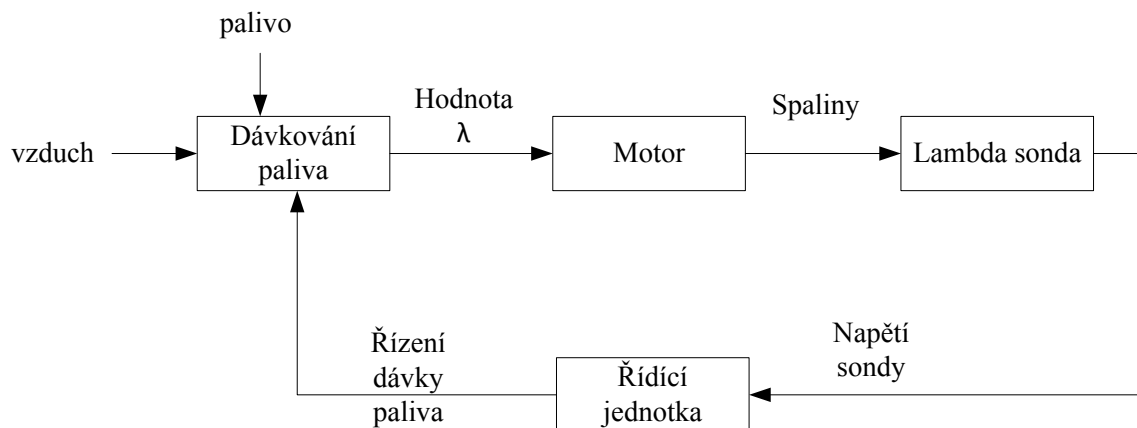
Běžné spalovací motory pracují celkem v sedmi režimech, které je potřeba řídit a které ovlivňují spotřebu paliva: startování, zahřívání motoru, řízení v otevřené smyčce, řízení v uzavřené smyčce, prudká akcelerace, decelerace (zpomalování), volnoběh. Řídící jednotka k rozpoznání těchto režimů využívá spoustu čidel a snímačů. Mezi nejdůležitější patří snímač otáček a úhlu natočení klikové hřídele, snímač hmotnosti nasávaného vzduchu a jeho teplota, lambda sonda, teplota chladicí kapaliny, úhel natočení škrticí klapky a mnoho dalších. [7]

Otočením klíčku pro nastartování motoru, řídící jednotka automaticky vybere režim startování, což znamená, že je zapotřebí bohatá směs. Jakmile otáčky motoru vzrostou nad startovací otáčky, vyhodnotí řídící jednotka, že je nastartováno a započne režim zahřívání motoru. V tomto režimu stále udržuje bohatou směs, dokud nevzroste teplota chladicí kapaliny nad minimální hodnotu, aby se motor nezastavil. V těchto režimech se poměr paliva určuje z teploty motoru. [7]

Po dosažení dostatečné teploty chladicí kapaliny přejde jednotka do stavu řízení v otevřené smyčce, dokud se nezahřeje lambda sonda a nedává potřebný signál jednotce. Její zahřátí se určí z minimální požadované hodnoty generovaného napětí pro bohatou směs. Když je sonda již zahřátá na patřičnou teplotu může jednotka přejít do stavu řízení v uzavřené smyčce (bude popsáno dále). Jednotka zůstává v uzavřené smyčce po celou dobu, dokud lambda sonda nevychladne a poskytuje požadované hodnoty napětí, nebo nedojde k prudké akceleraci či deceleraci. Pokud sonda vychladne, přejde jednotka opět do otevřené smyčky. [7]

Při prudké akceleraci nebo velkém zatížení jednotka nebere v potaz signál z lambda sondy a po dobu zátěže nebo akceleraci dává stále bohatou směs. Při tomto řízení dostaneme z motoru velký točivý moment, ale na úkor spotřebě a velkým emisím. Po skončení tohoto cyklu jednotka přejde do řízení v otevřené nebo uzavřené smyčce v závislosti na ostatních stavech v danou chvíli. Při deceleraci se vstřikuje chudá směs ke snížení emisím HC (uhličitany) a CO (oxid uhličitý) z nespáleného paliva. U řízení motoru při volnoběhu se jednotka stará, aby se motor nezastavil při připojení nějaké zátěže jako je kompresor klimatizace nebo při rozjezdu. [7]

4.1 Řízení v uzavřené smyčce



Obr. 15 Blokové schéma uzavřené smyčky

V jakýchkoli systémech pracujících v uzavřené smyčce jsou veškerá naměřená data porovnávána s požadovanými hodnotami. Toto řízení je aktivní pouze, je-li lambda sonda zahřátá. Průměrná hodnota napětí sondy v čase je vhodnou zpětnou vazbou k řízení spotřeby. Okamžitá hodnota napětí sondy neustále kmitá mezi maximální a minimální hodnotu, ale průměrná hodnota je vhodnou indikací vstřikovaného poměru. [7]

Množství vstřikovaného paliva se řídí dobou otevření vstřikovacích trysek. Jednotka neustále nastavuje tuto dobu podle měnících se naměřených parametrů. Doba, po kterou je otevřen vstřikovací ventil, se určuje z množství nasátého vzduchu a ze signálu lambda sondy. Když dává lambda sonda informaci o tom, že se spaluje bohatá směs, tak se pro následující vstřikovací ventil doba vstřiku snižuje. Pokud sonda indikuje chudou spalovanou směs, jednotka zvýší dobu vstřiku pro následující vstřikovač. Tato doba se neustále zvětšuje nebo zmenšuje na základě naměřené hodnoty lambda, ale pouze do limitních hodnot. Výpočet této doby je poměrně rychlý na to, aby umožnil jednotce rychlé nastavení doby otevření vstřikovacího ventilu při prudkém sešlápnutí plynového pedálu a při vysokých rychlostech. Každé snížení a zvýšení času se provádí v předem určených cyklech, vypočtená hodnota se ukládá do paměti, ze které je pak čtena a v dalším cyklu dalším výpočtem přepíše. [7]

5 Elektronický simulátor dvoubodové lambda sondy

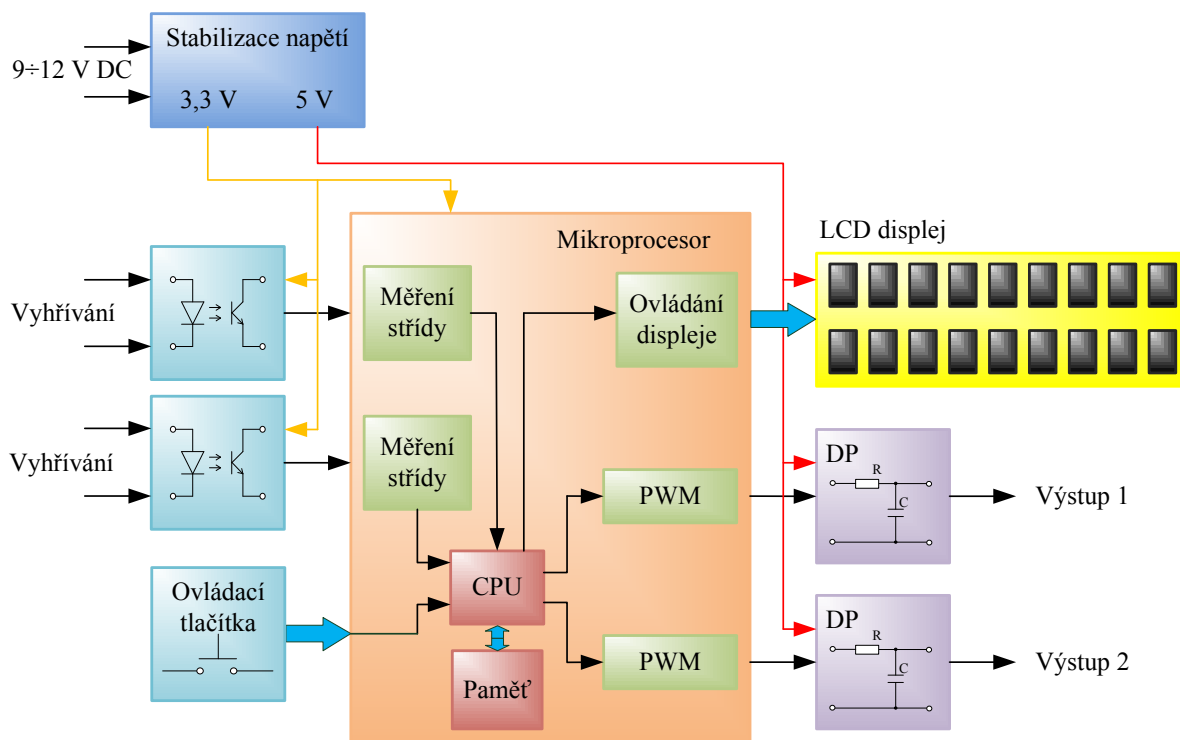
Cílem tohoto zařízení je generace napětí shodném s generovaným napětím lambda sondy a také měření vyhřívání sondy, které zajišťuje řídicí jednotka. Zařízení je schopno generovat různé chybové stavy sondy, náběh sondy při startu studeného motoru, než dojde k jejímu zahřátí, a také simulovat stav akcelerace motoru.

5.1 Popis zařízení

Jádrem celého zařízení je mikroprocesorem MC9S08AC16 firmy Freescale. Tento mikroprocesor zajišťuje jak samotnou generaci napětí tak měření střidy vyhřívání sondy. Napětí je generováno pomocí PWM signálu, který prochází filtrem, dolní propustí, tak aby prošla pokud možno jen stejnosměrná složka. Měření vyhřívání se provádí pomocí optočlenu, který zajistí galvanické oddělení vstupu od řídicí části.

Celý obvod je napájen z usměrněného zdroje 9 až 12 volty, které jsou dále vyfiltrovány a stabilizovány na 5 V a 3,3 V. Z pěti-voltové větve je napájen displej a obvod pro úpravu generovaného napětí a 3,3 V jsou použity na napájení mikroprocesoru a optočlenu.

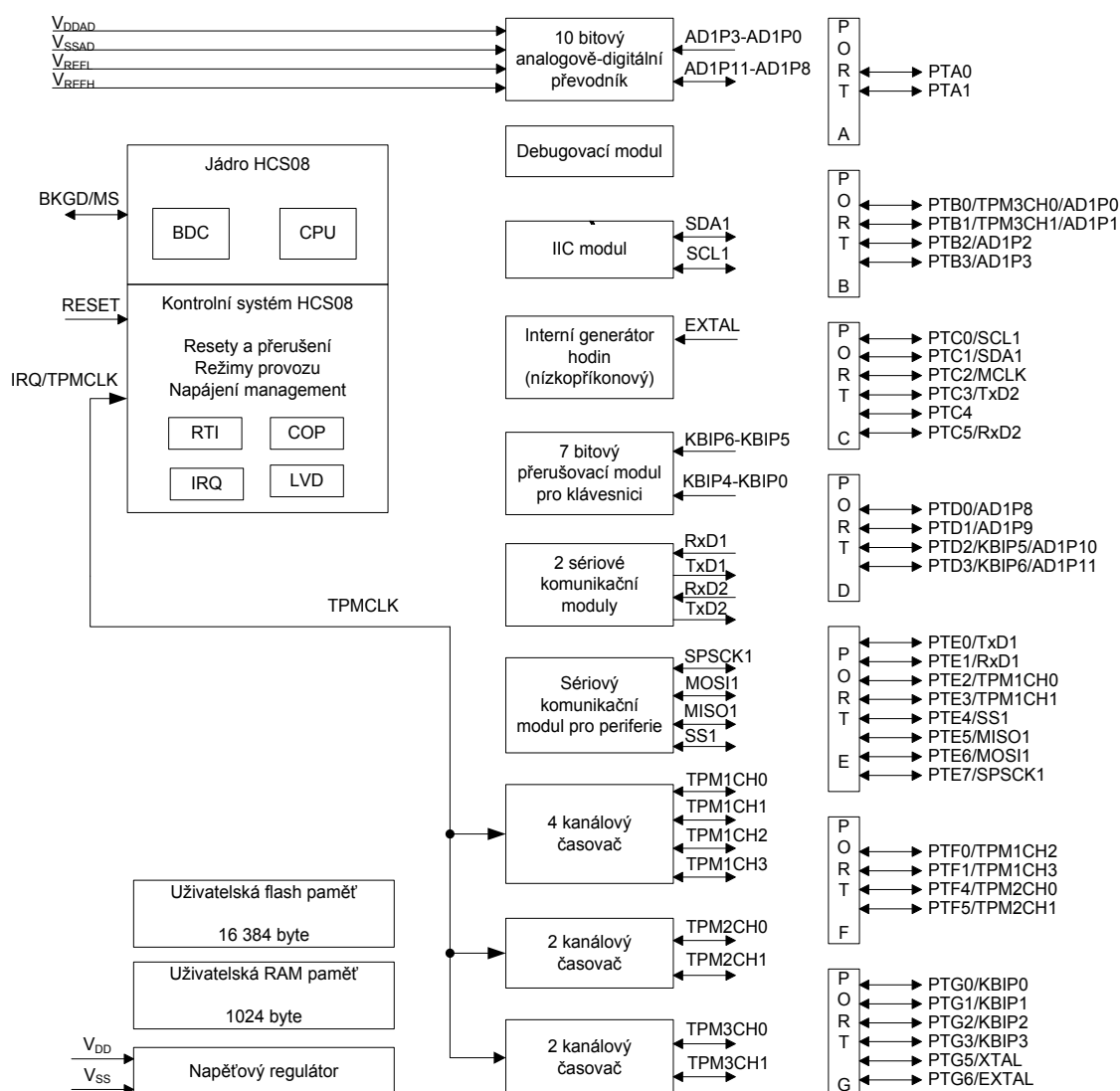
Simulátor je schopen simulovat dvě lambda sondy, ale jednotlivá zapojení a výpočty součástek budou provedeny pouze pro jeden výstup, jelikož oba výstupy jsou naprosto totožné.



Obr. 16 Blokové schéma simulátoru

5.1.1 Popis mikroprocesoru

Jedná se o osmibitový mikroprocesor MC9S08AC16 s RISC jádrem HCS08, který vyrábí firma Freescale. Tento mikroprocesor disponuje 16 kB flash pamětí pro program a 1 kB RAM pamětí pro data. Rychlostí jádra až 40 MHz, interním 20 MHz oscilátorem, analogově digitálním převodníkem a především až osmi kanály 16 bitových časovačů, které lze využít jako *input capture*, *output compare* a *PWM* (budou dále popsány). Právě díky těmto třem módům časovačů byl vybrán pro tuto aplikaci. Disponuje až 38 vstupně/výstupními bránami s možností softwarového přiřazení pullup rezistorů a mnoho další funkcí, které však nejsou podstatné pro tuto aplikaci.



Obr. 17 Blokové schéma struktury mikroprocesoru

Nyní budou popsány zmiňované režimy časovače. Mikroprocesor má celkem tři časovače, kde dva jsou dvoukanálové a jeden čtyřkanálový. Čtyřkanálový časovač je použit pro generaci napětí a

periody změny signálu, zbylými dvěma se měří střída vyhřívání lambda sondy. Jak již bylo zmíněno dříve, každý kanál může pracovat v jednom ze tří různých režimů.

Prvním režimem je *input capture*, jedná se o záchytný čítač, kterým lze měřit frekvenci nebo délku trvání pulsů. Programově si lze zvolit, aby čítač reagoval pouze na vzestupnou, pouze na sestupnou nebo obě hrany. Kdykoli dojde ke změně úrovně na vstupu čítače, vygeneruje se přerušení a uloží se aktuální hodnota z registru do zásobníku, kterou lze následně vyčíst. Tato hodnota udává dobu, při které došlo k přerušení. Jak je již zřejmé, tento režim je využit pro měření střidy.

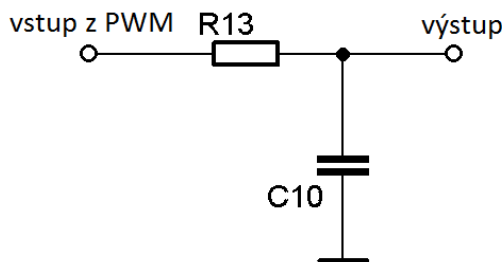
Dalším módem je *output compare*. Díky tomuto režimu můžeme generovat pulsy s možností změny frekvence, délky pulsu a jeho polarity. Kdykoli dojde ke shodě čítacího registru s registrem pro nastavení doby, dojde buď k vygenerování přerušení, nebo ke změně stavu příslušného pinu. Změnou stavu se myslí jeho nulování nebo nastavení na logickou jedničku. Tímto režimem dochází ke generování periody změny signálu.

Posledním režimem je *PWM*. PWM je zkratka pro pulsně šířkovou modulaci. Principem pulsně šířkové modulace je změna délky pulsu při zachování konstantní frekvence. Mikroprocesory firmy Freescale mají dva režimy PWM. První je centrováný na střed a druhý je zarovnaní pulsu ke kraji. První režim funguje tak, že se puls centruje na střed periody a druhý režim na počátku periody nastaví výstup a jakmile je hodnota čítacího registru shodná s nastavením délky pulsu dojde k převrácení hodnoty výstupu. Výstupní signál může mít dva tvary, u první možnosti je na počátku periody nulován výstup, a když dojde ke shodě registrů, nastaví se výstup na jedničku. U druhé možnosti je tomu právě naopak, na začátku periody je výstup nastaven do jedničky a při shodě je nulován. PWM mód je právě použit ke generování výstupního napětí.

5.1.2 Generování napětí sondy

Generování napětí pro simulaci lambda sondy probíhá pomocí pulsně šířkové modulace. Velikost výstupního napětí, tedy napětí, odpovídajícímu napětí na lambda sondě, se určuje změnou doby trvání pulsu neboli změnou střidy. Jelikož výstupní signál z PWM je digitální signál a napětí, které generuje lambda sonda je konstantní, je potřeba získat střední hodnotu z PWM signálu. Toho se dosáhne tak, že signál projde přes integrační RC člen neboli dolní propust.

Dolní propust je filtr, který propouští střídavý signál a jeho stejnosměrnou složku o menší frekvenci než je nastavena hodnotou kapacitoru a rezistoru, naopak vyšší frekvence potlačuje. Schéma tohoto filtru je na následujícím obrázku (obr. 18). Aby bylo dosaženo toho, že filtr spolehlivě odstraní veškeré vyšší kmitočty a ponechá jen stejnosměrnou složku, musel by být nastaven na frekvenci menší než jedna. Toto bohužel zařídit nelze, jelikož je potřeba zajistit dobré reakční vlastnosti, protože lambda sonda mění své napětí v závislosti na obsahu kyslíku ve spalínách. Kvůli tomuto požadavku je filtr nalazen na frekvenci přibližně 75 Hz, kdy má dostačující filtrační a reakční vlastnosti.



Obr. 18 Schéma zapojení dolní propusti

Jelikož je potřeba vyfiltrovaný signál ještě snížit na požadovanou úroveň, je za filtrem napěťový dělič. Aby nedocházelo ke zbytečnému zatěžování filtru, je vložen mezi něj a dělič operační zesilovač, zapojen jako napěťový sledovač a to proto, že vstup operačního zesilovače má odpor řádově megaohmy, takže můžeme říci, že filtr nijak nezatěžuje.

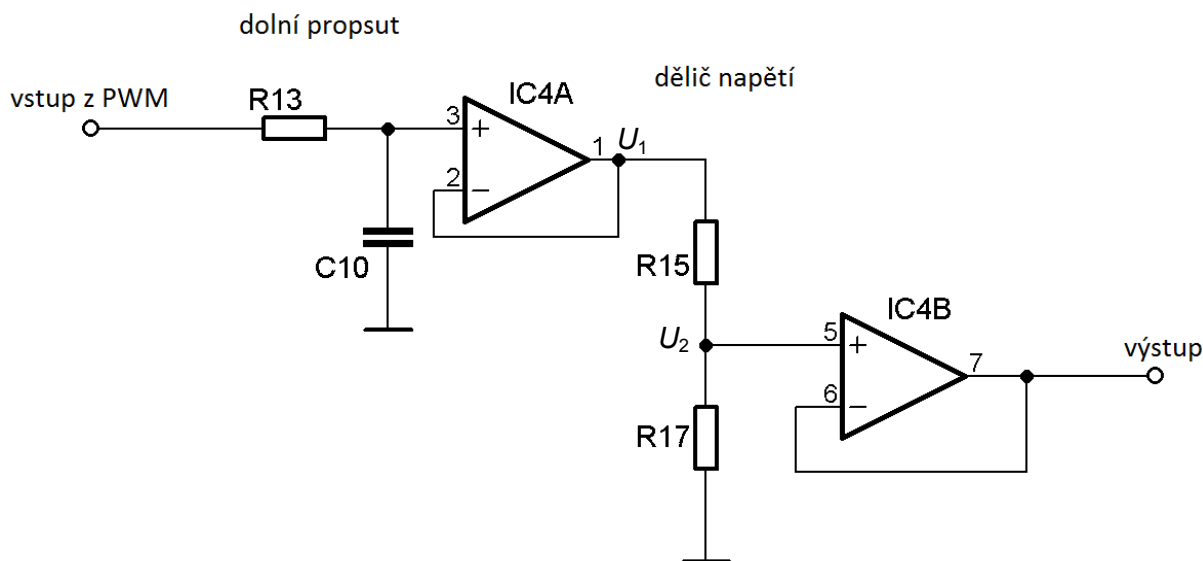
Výpočet děliče se určí z požadovaného výstupního napětí, kdy maximální výstupní napětí by mělo odpovídat co největší střídě. Víme, že maximální výstupní napětí U_2 bude 900 mV a maximální napětí, které získáme vyfiltrováním PWM signálu bude 3 V. Napájecí napětí je sice 3,3 V a tuto hodnotu lze také dostat z PWM, ale 0,3 V je ponecháno jako případná rezerva úbytku napětí na filtru nebo pokles napájecího napětí. Nyní, když známe obě napětí, spočteme rezistory v děliči ze vztahu:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_{17}}{R_{15} + R_{17}} \Rightarrow R_{15} = R_{17} \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \quad (6.1)$$

Rezistor R17 vhodně zvolíme z odporové řady E12 a dopočteme rezistor R15, který je poté nutno zvolit nejbližší nižší z odporové řady E12. Dále je nutné přepočíst zpět dělicí poměr ze zvolených rezistorů, který bude důležitý pro výpočet hodnoty střídý. Při zvolení rezistorů R17 2k2 a R15 4k7 se získá dělicí poměr:

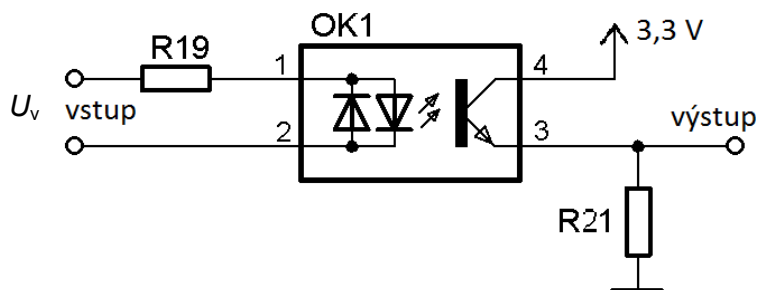
$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{22}{69} \quad (6.2)$$

Na následujícím obrázku je schéma zapojení obvodu pro úpravu signálu. Signál z PWM výstupu mikroprocesoru projde přes dolní propust tvořenou rezistorem R13 a kondenzátorem C10, čímž se získá střední hodnota z PWM. Dále se tato střední hodnota sníží na děliči tvořeným rezistory R15 a R17 a nakonec přes sledovač IC4B, který zajistí, aby nedošlo k poklesu napětí, při připojení obvodu k zátěži, se vyvede na výstup simulátoru.



Obr. 19 Schéma zapojení výstupní části

5.1.3 Vstupní obvod pro měření vyhřívání



Obr. 20 Schéma zapojení vstupního obvodu pro měření vyhřívání

Jak již bylo zmíněno, vstupním obvodem pro měření vyhřívání sondy je použit optočlen OK1 typu PC814. Zapojení je na Obr. 20. Jelikož maximální dovolené napětí a proud diodou optočlenu je 1,4 V a 60 mA musí být do obvodu zařazen ještě předřadný rezistor R19. Jeho hodnotu spočteme jednoduše pomocí Ohmova zákona.

$$R_{19} = \frac{U_v - U_{do}}{I_{do}} \quad (6.3)$$

kde U_v je napětí generované řídicí jednotkou motoru a je rovno palubnímu napětí, tedy 14,4 V, napětí U_{do} je maximální dovolené napětí a I_{do} je maximální přípustný proud tekoucí diodou optočlenu. Tato hodnota je udaná výrobcem v katalogu. V katalogu se také dočteme, že optimální proud fotodiodou je 20 mA a napětí 1,2 V. Dosazením těchto hodnot do vzorce získáme přibližnou hodnotu předřadného

odporu, kde správný rezistor dohledáme z odporové řady E12. Vhodnější je volit vyšší hodnoty, čímž předejdeme případnému zničení diody.

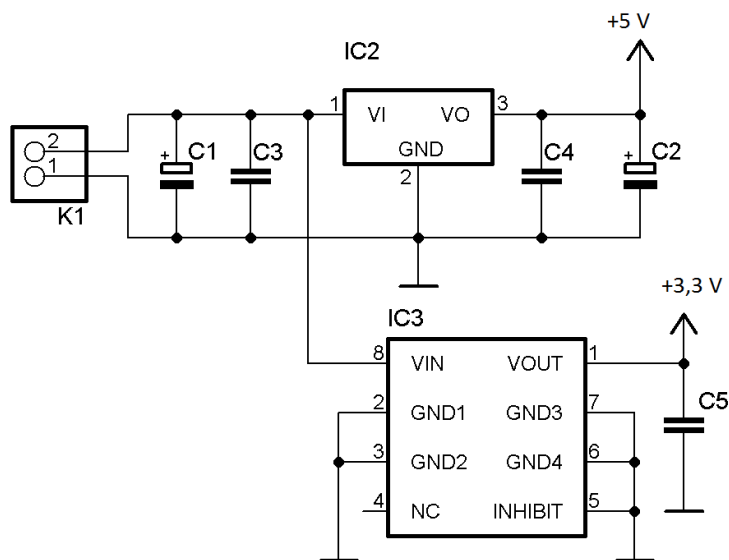
$$R_{19} = \frac{14,4 - 1,2}{0,02} = 660 \, \Omega$$

Pro danou aplikaci byl zvolen rezistor o hodnotě 1 k Ω . Při zpětnému dopočtu proudu za uvažování stejných napětí, získáme proud fotodiodou 13 mA, což je dostačující a nijak neovlivní správný chod zařízení.

Optočlen na vstup je zvolen také z důvodu snížení signálu z 14,4 V na provozní napětí mikroprocesoru. Proto je kolektor fototranzistoru napojen na 3,3 V. Výstup z optočlenu se přivádí přes paralelně zařazený rezistor R21 na vstup časovače mikroprocesoru. Rezistor R21 je použit proto, když na vstupu nebude žádný signál, tak vstupní hodnotou pro mikroprocesor bude logická 0.

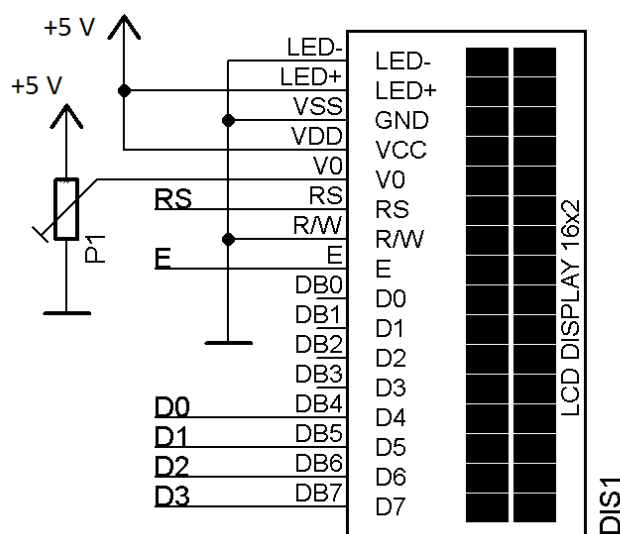
5.1.4 Pomocné obvody

Mezi pomocné obvody patří stabilizace napětí na požadovaných 5 a 3,3 V s dostatečnou filtrací. Dále zobrazovací jednotka, signalizační LED diody a ovládací tlačítka. Stabilizátor pro 5 V větev je použit 7805 (IC2 Obr. 21) a 3,3 V stabilizuje obvod LE33CD (IC3 Obr. 21). LED diody signalizují, zda je přístroj zapnut (červená LED), při nastavování hodnot došlo k chybě (červená LED) a zda nastavení proběhlo v pořádku (zelená LED). LED diody potřebují předřadný rezistor, aby nedošlo k jejich zničení. Jeho výpočet bude totožný jako výpočet rezistoru pro optočlen pouze s tím rozdílem, že zde je vstupním napětím 3,3 V místo 14,4 V. Proud diodou je maximálně 10 mA a její napětí 1,8 V (červená) a 2 V (zelená), výpočtem dojdeme k hodnotě předřadného rezistoru 150 Ω .



Obr. 21 Schéma zapojení stabilizace napětí

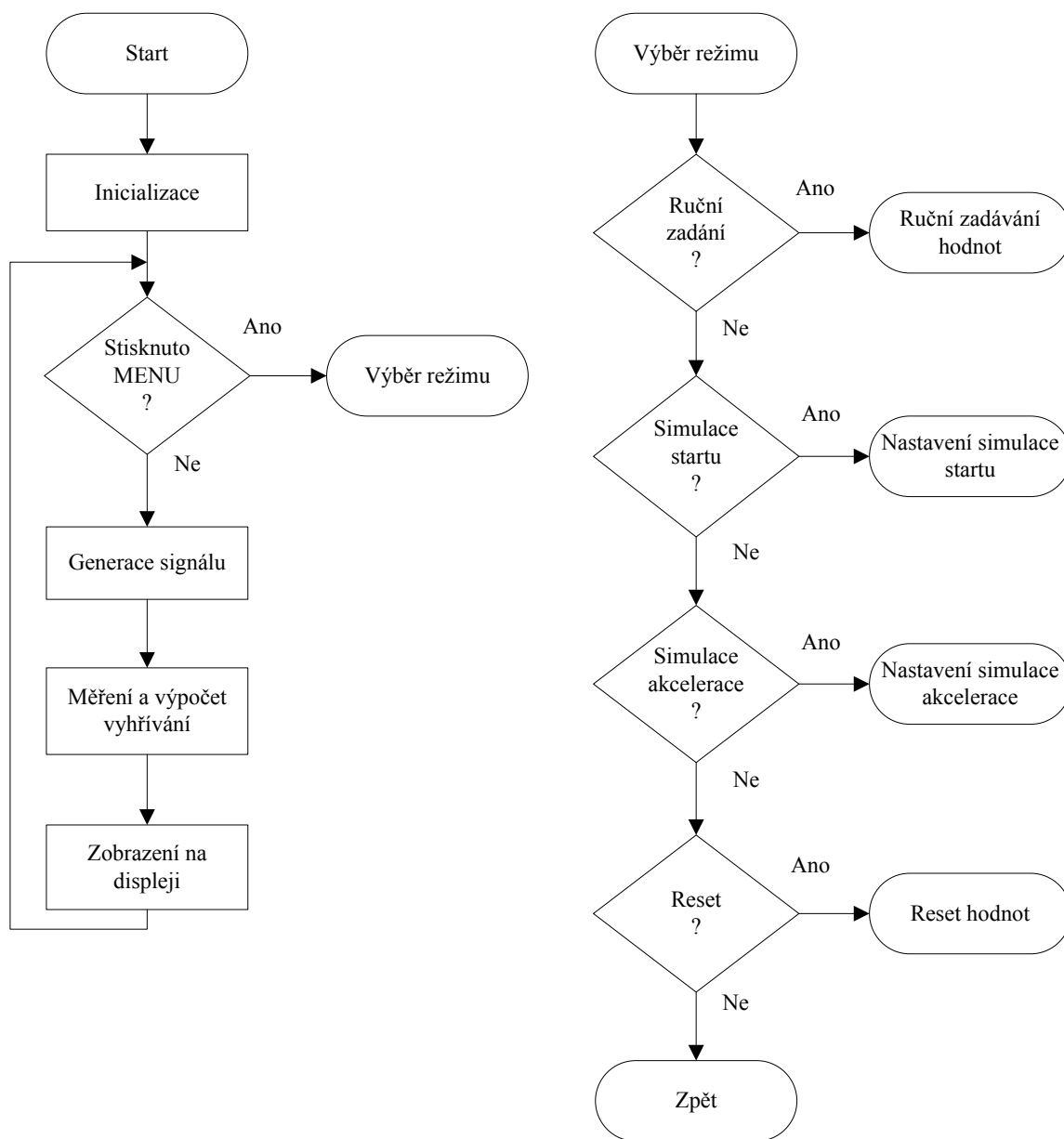
Jako zobrazovací jednotka je použit LCD displej s dvěma řádky a 16 sloupci. Komunikace mikroprocesoru s displejem probíhá pomocí 4 datových vodičů (D0 až D4) a dvou stavových (RS a E). Tyto porty jsou přímo připojeny na mikroprocesor. Dále je připojen k displeji trimr P1, kterým se nastavuje jas segmentů a zapojeno napájení podsvícení displeje (LED+, LED-). Ovládací tlačítka jsou připojena jedním vývodem přímo k mikroprocesoru a druhým na společnou zem. Takto je zapojit si můžeme dovolit pouze tehdy, má-li mikroprocesor vnitřní pullup rezistory. Tlačítek je celkem šest, čtyři směrová, MENU a tlačítko SET.



Obr. 22 Schéma zapojení displeje

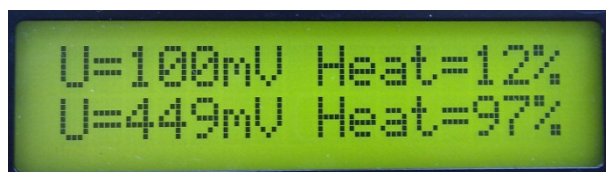
5.2 Popis ovládacího programu

Celý program běží ve smyčce, kde ověřuje stisk tlačítka, měří vyhřívání sondy a generuje požadované napětí. Jak již bylo zmíněno, zařízení má tři režimy funkce, prvním je možnost ručního zadávání hodnot. Tím se myslí volby sondy před nebo za katalyzátorem, natavování velikosti napětí a v případě sondy před katalyzátorem doby chudé a bohaté směsi. Další funkcí je simulace studené sondy až po její zahřátí a poslední možností je režim akcelerace. V následujících kapitolách bude popsáno ovládání zařízení, a jaké jsou výstupy.



Obr. 23 Vývojový diagram řídicího programu

Po zapnutí a inicializaci přejde program do režimu simulace předem zadaných hodnot, to je jedna sonda před katalyzátorem a druhá za katalyzátorem. U sondy před katalyzátorem je generované napětí 100 a 900 mV s periodou 1 s a střídou 1:1, sonda za katalyzátorem dává konstantní napětí o 100 mV. Na obrazovce se zobrazí hlavní obrazovka s aktuálním generovaným napětím a naměřeným vyhřívání.



Obr. 24 Hlavní obrazovka

Hlavní obrazovka je rozdělena na čtyři části. V prvním sloupci je zobrazeno aktuální napětí v milivoltech označeno U a ve druhém sloupci je naměřená střída vyhřívání sondy v procentech označena $Heat$. První řádek je pro první výstup, tedy sondu 1 a druhý řádek pro druhý výstup sondy 2.

K výběru jednotlivých simulačních režimů přejdeme stiskem tlačítka MENU. Jeho stiskem se nám na obrazovce zobrazí název režimu, který chceme nastavovat a pod ním nápis, zda chceme vybrat aktuální možnost nebo přejít dále. Výběr možnosti se provede stiskem tlačítka SET, na další nabídku přejdeme tlačítkem MENU. Pokud jsme již veškeré možnosti vyčerpali, zobrazí se opět hlavní obrazovka s aktuálními hodnotami.

5.2.1 Ruční zadání hodnot

Chceme-li zadávat hodnoty ručně, zobrazí se nám po stisku tlačítka MENU následující obrazovka:



Obr. 25 Obrazovka ručního režimu

Do režimu přejdeme stiskem SET. Na následující obrazovce se zobrazí výběr, který výstup chceme nastavovat a zda se má jednat o sondu před nebo za katalyzátorem. Pro první výstup slouží šipka nahoru – sonda před katalyzátorem; a šipka vlevo – sonda za katalyzátorem. Druhý výstup se ovládá šipkou dolů pro sondu před katalyzátorem a šipka vpravo pro sondu za katalyzátorem.



Obr. 26 Výběr sondy před nebo za katalyzátorem

Nyní si popíšeme zadávání hodnot pro sondu před katalyzátorem. Zde můžeme měnit dobu trvání chudé a bohaté směsi nezávisle na sobě a také měnit úroveň napětí. Mezi jednotlivými pozicemi se pohybujeme šipkami vpravo a vlevo, podtržítka ukazuje, kterou hodnotu můžeme právě měnit. Hodnoty měníme šipkami nahoru a dolů. Stiskem šipky nahoru se číslice zvětšují o jednu, stiskem dolů se zmenšují o jednu. Potvrzení hodnot se provede tlačítkem SET. Pokud byly všechny hodnoty

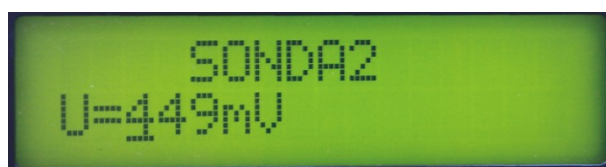
zadány správně, rozsvítí se zelená LED, označená textem OK. Při svitu červené LED, označené textem ERR, jsme zadali některou z proměnných chybně. Kurzor se přesune na danou proměnnou, která byla zadána chybně a je nutné její hodnotu opravit.



Obr. 27 Zadávané hodnoty pro sondu před katalyzátorem

V levém sloupci se mění doba trvání chudé a bohaté směsi a v pravém jejich napětí. Pro chudou směs platí horní řádek, kde l značí dobu trvání. Hodnota se zadává v sekundách a minimum je 0,10 ms. Napětí je naznačeno proměnnou U_l , a zadává se v milivoltech. Může nabývat hodnot 80 až 999 mV a 0 mV. Doba bohaté směsi je označena písmenem r a napětí U_h . Rozmezí hodnot pro bohatou jsou shodná s chudou směsí, pouze napětí, nemůže být nižší než u chudé směsi.

U sondy za katalyzátorem je možné nastavovat pouze napětí. Jeho rozměry jsou shodné s napětí u sondy před katalyzátorem.



Obr. 28 Zadávané hodnoty pro sondu za katalyzátorem

Pokud jsme zadali veškeré hodnoty správně, můžeme přejít dále stiskem tlačítka MENU, tím se zobrazí nabídka, zda si přejeme zadat další hodnoty. Potvrzení se provede opět tlačítkem SET, které nabídne opět obrazovku pro výběr typu sondy. Nepřejeme-li si již zadávat další hodnoty, přejdeme dále tlačítkem MENU a dostaneme se na hlavní obrazovku s aktuálními hodnotami. Stiskem jak tlačítka SET, tak MENU, dojde také k aktualizaci výstupů, zadanými hodnotami.

5.2.2 Simulace startu

Chceme-li simulovat náběh sondy na pracovní teplotu, zobrazí se nám po stisku tlačítka MENU následující obrazovka:



Obr. 29 Obrazovka startovacího režimu

Výběr režimu provedeme stiskem tlačítka SET a poté se zobrazí opět hlavní obrazovka s aktuálními hodnotami. Při tomto režimu simuluje výstup 1 sondu před katalyzátorem a výstup 2 sondu za katalyzátorem. U sondy před katalyzátorem je generované napětí 300 mV pro chudou a 600 mV pro bohatou směs s periodou 1,6 s a střídou 1:1. Sonda za katalyzátorem má 450 mV. Tyto hodnoty jsou generovány po dobu 30 s, kdy přejde sondy do plně funkčního režimu s napětími 100 a 900 mV a periodou 1 s.

5.2.3 Simulace akcelerace

Pokud chceme nasimulovat průběh generovaný sondou při akceleraci vozidla, zobrazí se nám po stisku tlačítka MENU následující obrazovka:



Obr. 30 Obrazovka akcelerace

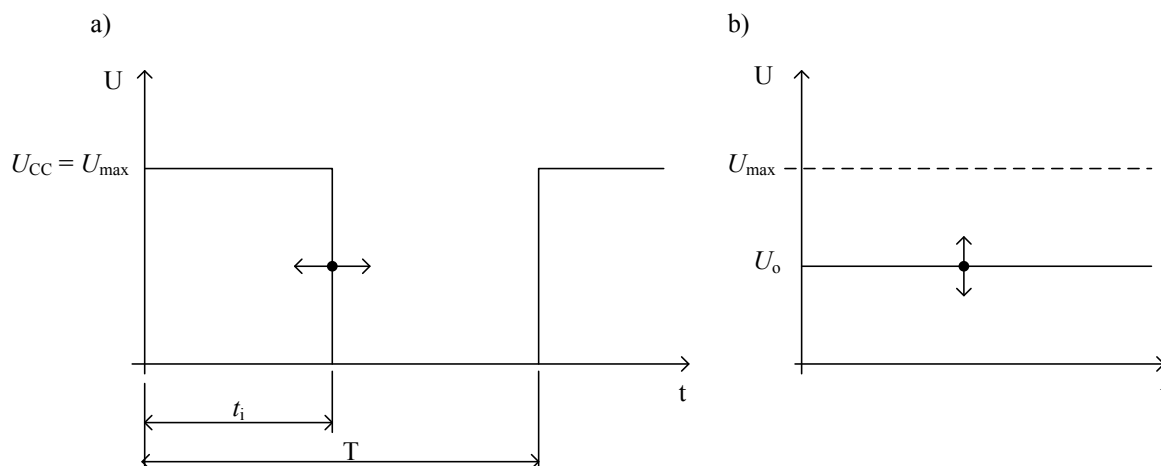
Výběr režimu provedeme stiskem tlačítka SET a poté se zobrazí opět hlavní obrazovka s aktuálními hodnotami. Při tomto režimu simuluje výstup 1 sondu před katalyzátorem a výstup 2 sondu za katalyzátorem. Oba výstupy generují signál plně funkčních sond, to znamená, že sonda před katalyzátorem má 100 a 900 mV s periodou 1 s a sonda za katalyzátorem má 450 mV. Celá simulace trvá 20 vteřin. Po celou dobu se neustále zkracuje doba trvání chudé a bohaté směsi, ale napětí je stále stejné. Po uplynutí 20 vteřin se na nějakou určitou dobu udrží chudá směs, což simuluje následnou deceleraci motoru.

5.3 Generování napětí a měření vyhřívání

Nyní si popíšeme jak samotné generování napětí a měření střidy vyhřívání probíhá.

5.3.1 Generování napětí

Jak již bylo dříve popsáno, napětí je generováno PWM signálem, což znamená, že se změnou střidy signálu se změní i výsledná stejnosměrná složka po vyfiltrování. Generátor PWM je již součástí mikroprocesoru a ovládá se pomocí příslušných registrů, jeho nastavení a přesné hodnoty v registrech nejsou důležité pro popis funkce zařízení, objasněn bude pouze základní princip výpočtu střidy.



Obr. 31 a) PWM signál; b) Výstupní signál

Úroveň výstupního napětí je přímo úměrné střídě PWM signálu. Střídou se myslí poměr délky pulsu t_i k celkové periodě T .

$$s = \frac{t_i}{T} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6.4)$$

Vynásobíme-li napájecí napětí U_{CC} střídou s , získáme hodnotu stejnosměrné složky po vyfiltrování, která je pak ještě na děliči snížena na požadovanou hodnotu. Výpočet střidy je nutno vzít od požadovaného výstupního napětí. Dříve jsme si vypočetli dělicí poměr, odkud zjistíme vstupní napětí do děliče, které bude shodné se stejnosměrnou složkou z PWM signálu. Maximální výstupní napětí U_2 bude 900 mV, dosazením do vztahu (6.2), získáme hodnotu napětí $U_1 = 2,823$ V. Nyní vydělíme toto napětí napájecím a získáme tak velikost střidy s :

$$s = \frac{U_1}{U_{CC}} \cdot 100 = \frac{2,823}{3,3} \cdot 100 = 85,5 \quad \% \quad (6.5)$$

Programově je výpočet proveden pouze vynásobením požadovaného napětí patřičnou konstantou získanou z předchozích výpočtů.

5.3.2 Měření vyhřívání

Jelikož lambda sonda je vyhřívána PWM signálem, je nutné změřit periodu signálu a dobu aktivního pulsu. Tyto údaje se dají měřit za pomoci časovače v režimu *input capture* (bylo popsáno dříve). Proces měření je následující, při náběžné hraně pulsu, to znamená počátek periody, se vygeneruje přerušení t_1 . Hodnota, do které napočítal čítač, se uloží do paměti a čeká se, než nastane přerušení od konce pulsu. Při dalším přerušení, to znamená signalizace konce pulsu, se uloží do paměti další čas t_2 napočítán čítačem. Konec periody se určí přerušením z náběžné hrany t_3 a opět se uloží tato hodnota do paměti. Jelikož je tato hrana i počátkem další periody, je při následující sestupné hraně čítač vynulován, protože by se tato perioda již nemusela vlézt do rozmezí čítače a mohlo by dojít k jeho přetečení. To znamená, že se měří každá druhá perioda.

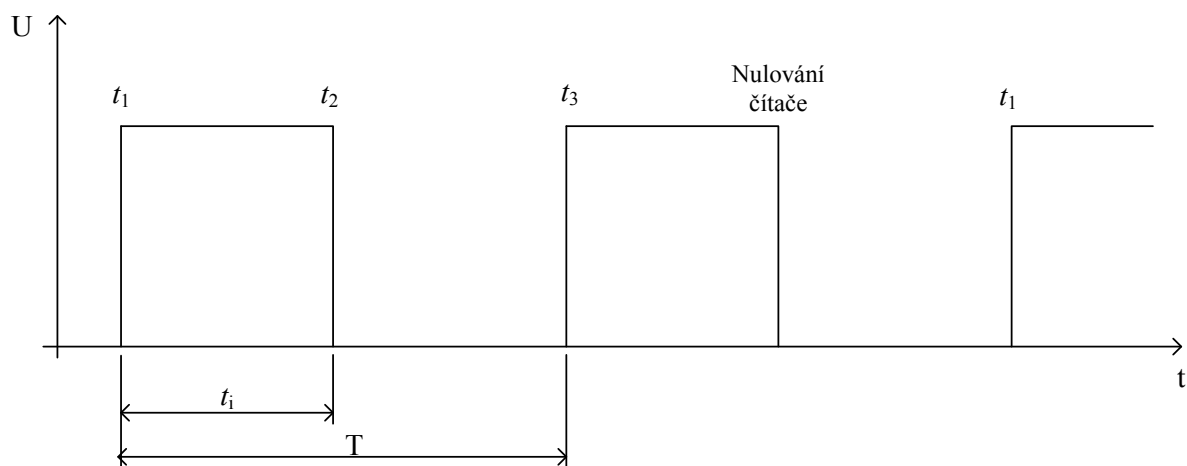
Výpočet střidy vyhřívání je jednoduchý, jelikož známe dobu trvání pulsu (6.6) a celkovou dobu periody (6.7).

$$t_i = t_2 - t_1 \quad [\text{s}] \quad (6.6)$$

$$T = t_3 - t_1 \quad [\text{s}] \quad (6.7)$$

Odtud lze již vypočíst celková střída vyhřívání a zobrazit její hodnotu na displeji.

$$s = \frac{t_i}{T} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6.8)$$

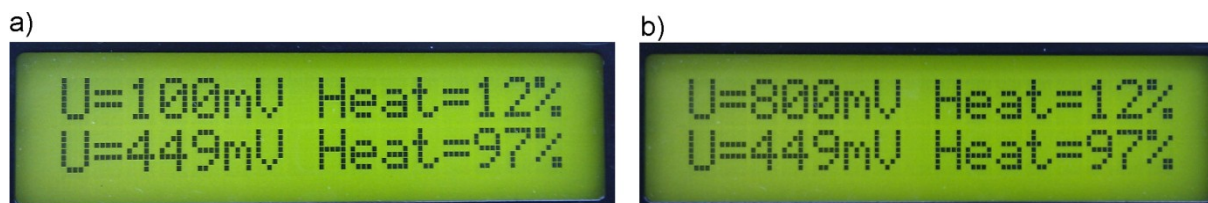


Obr. 32 Znázornění generovaných přerušení pro měření vyhřívání

6 Ověření funkce simulátoru měřením

6.1 Ověření ručního zadávání hodnot

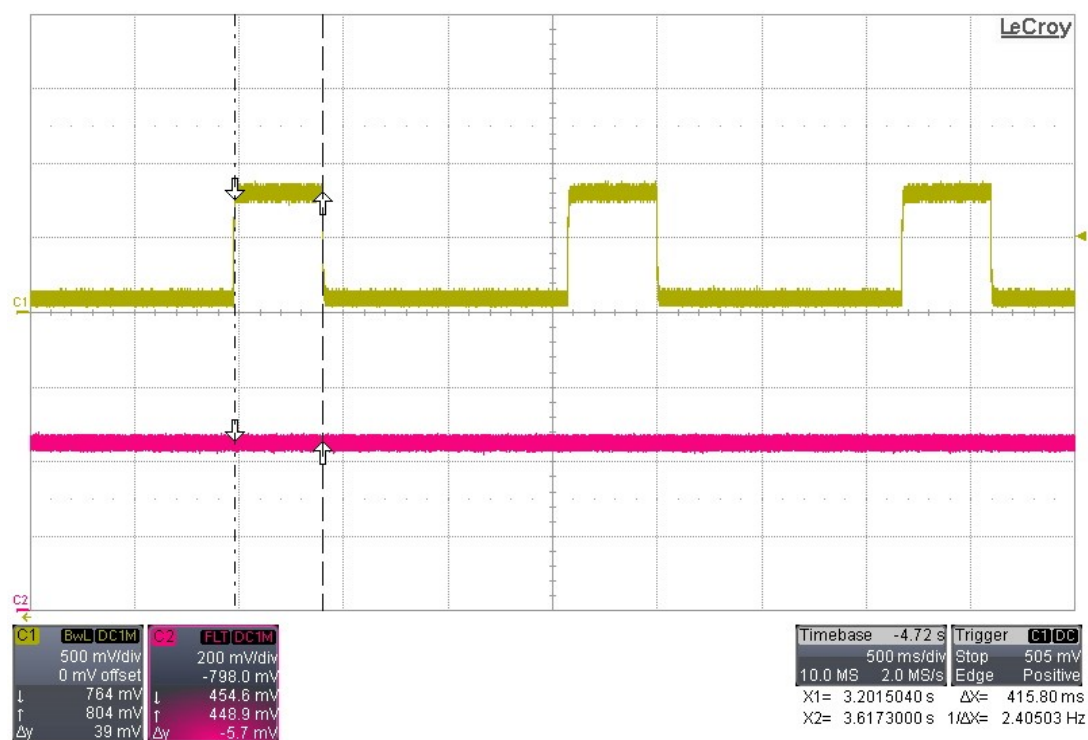
Ruční režim si ověříme tak, že nastavíme nějaké hodnoty a provedeme měření. Také je potřeba ověřit správnou funkci zobrazování, zda správně ukazuje nastaveny hodnoty. Nejprve provedeme test funkčnosti generace napětí, kdy jeden výstup bude simulovat sondu před katalyzátorem a druhý sondu za katalyzátorem. Pro první výstup vybereme sondu před katalyzátorem a nastavíme úroveň napětí na 100 a 800 mV a doby trvání například na 1,1 s pro chudou a 0,4 s pro bohatou směs. U druhého výstupu nastavíme sondu za katalyzátorem a napětí nastavíme na 450 mV.



Obr. 33 Generované hodnoty: a) chudá směs; b) bohatá směs



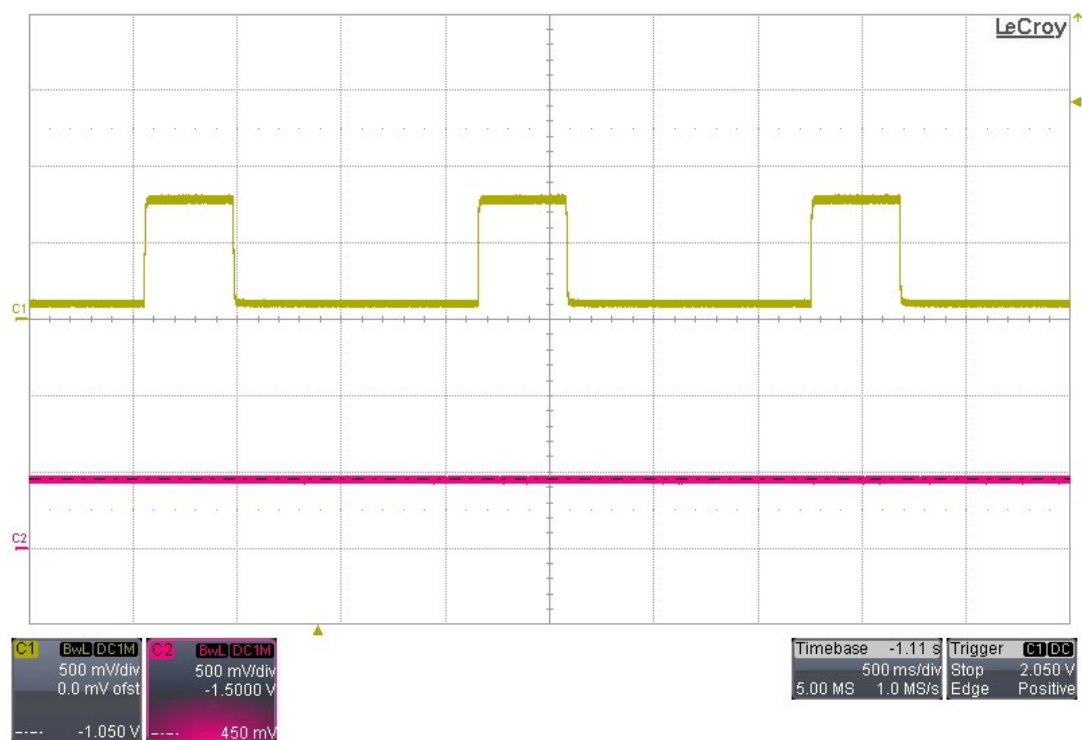
Obr. 34 Doba trvání chudé směsi
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



Obr. 35 Doba trvání bohaté směsi
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



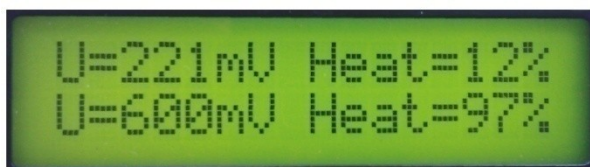
Obr. 36 Měření napětí prvního výstupu
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



Obr. 37 Měření napětí druhého výstupu
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)

Nyní provedeme stejné měření pouze s tím rozdílem, že výstup dva bude simulovat sondu před katalyzátorem s napětími 350 mV a 1,5 s pro chudou směs a 600 mV a 0,8 s pro bohatou směs. První výstup bude nyní simulovat sondu za katalyzátorem s napětím 220 mV.

a)



b)



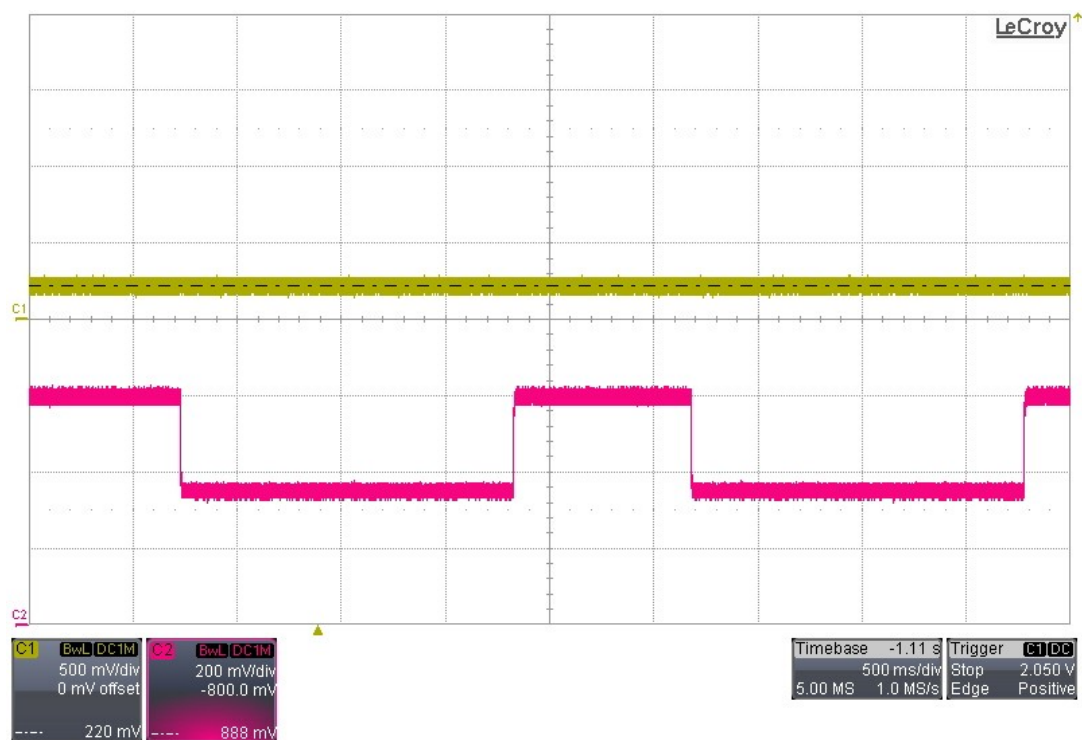
Obr. 38 Generované hodnoty: a) chudá směs; b) bohatá směs



Obr. 39 Doba trvání chudé směsi
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



Obr. 40 Doba trvání bohaté směsi
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



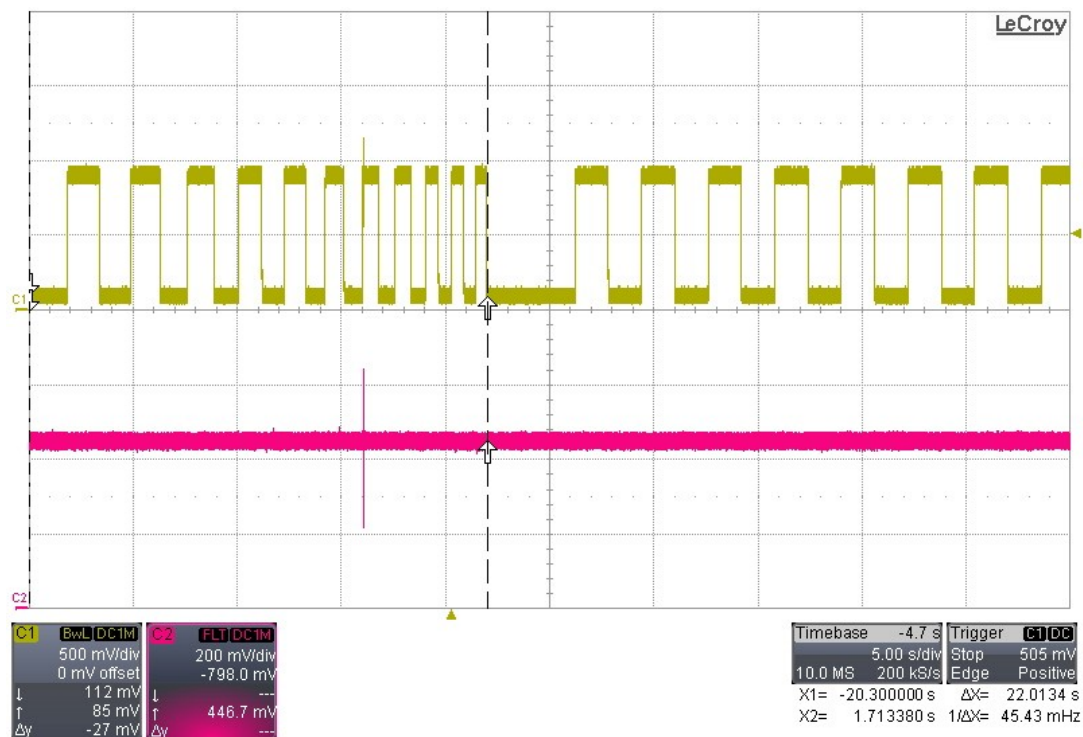
Obr. 41 Měření napětí prvního výstupu
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



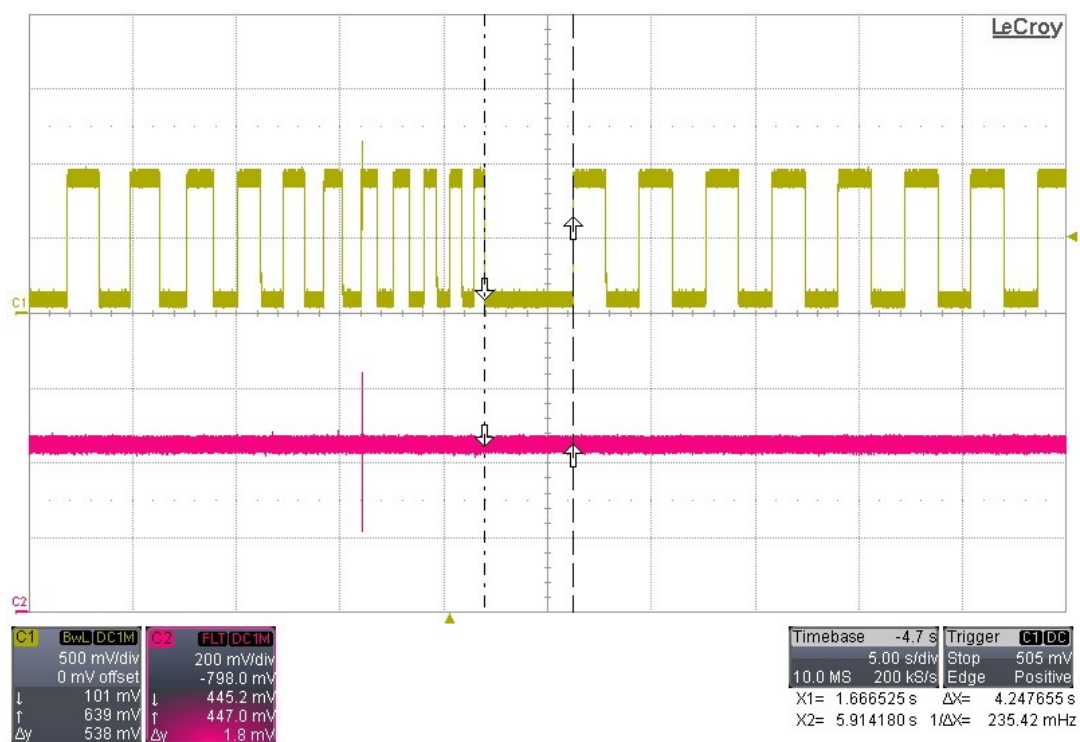
Obr. 42 Měření napětí druhého výstupu
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)

6.2 Režim akcelerace

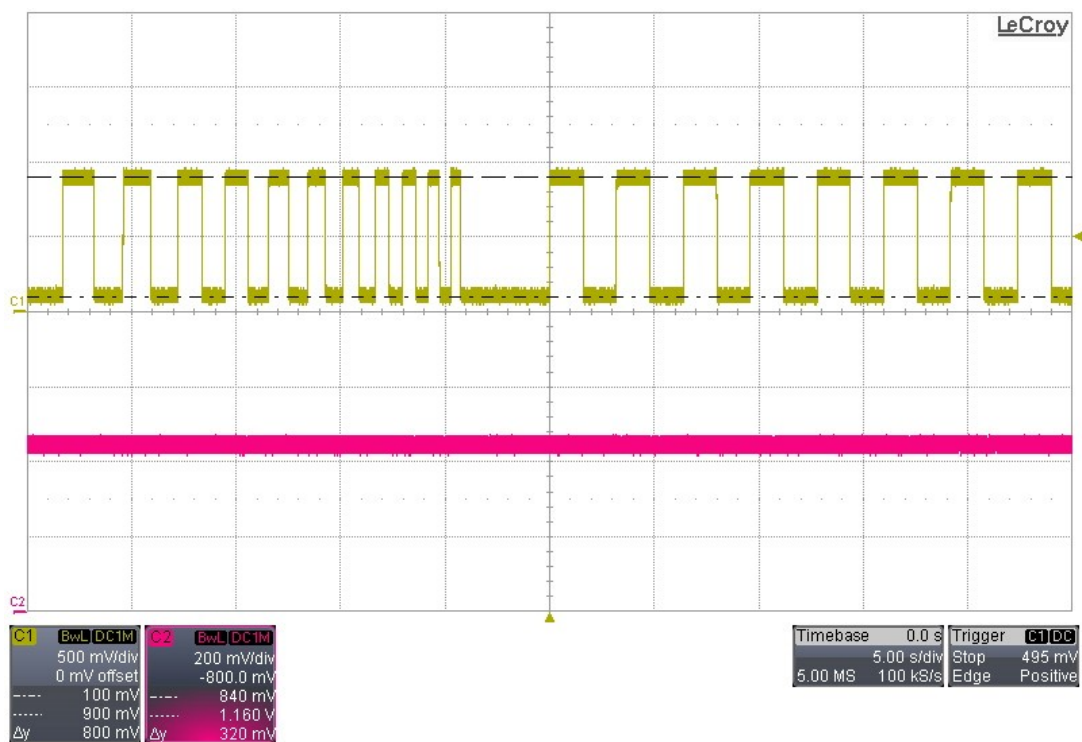
Při tomto režimu si uživatel nemůže nastavit žádné hodnoty, pouze lze změřit, že simulátor správně generuje napětí. První výstup by měl simulovat sondu před katalyzátorem s napětími 100 a 900 mV a se zkracujícími se dobami chudé a bohaté směsi a druhý výstup simuluje sondu za katalyzátorem s napětím 450 mV.



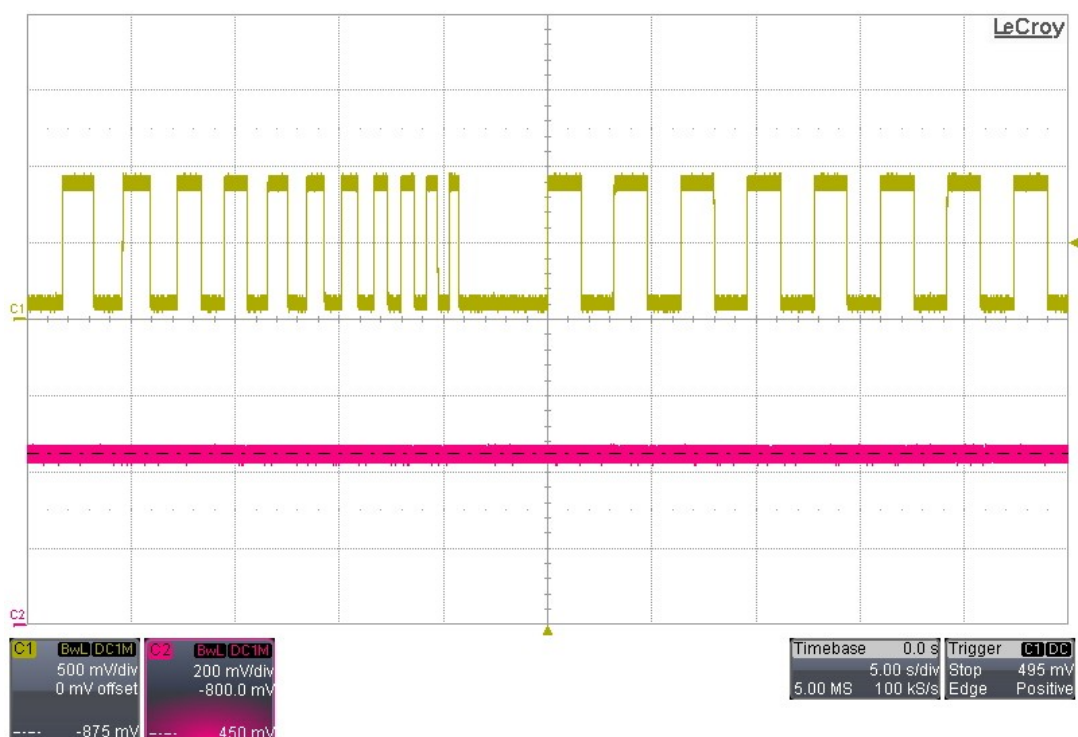
Obr. 43 Doba akcelerace
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



Obr. 44 Doba decelerace
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



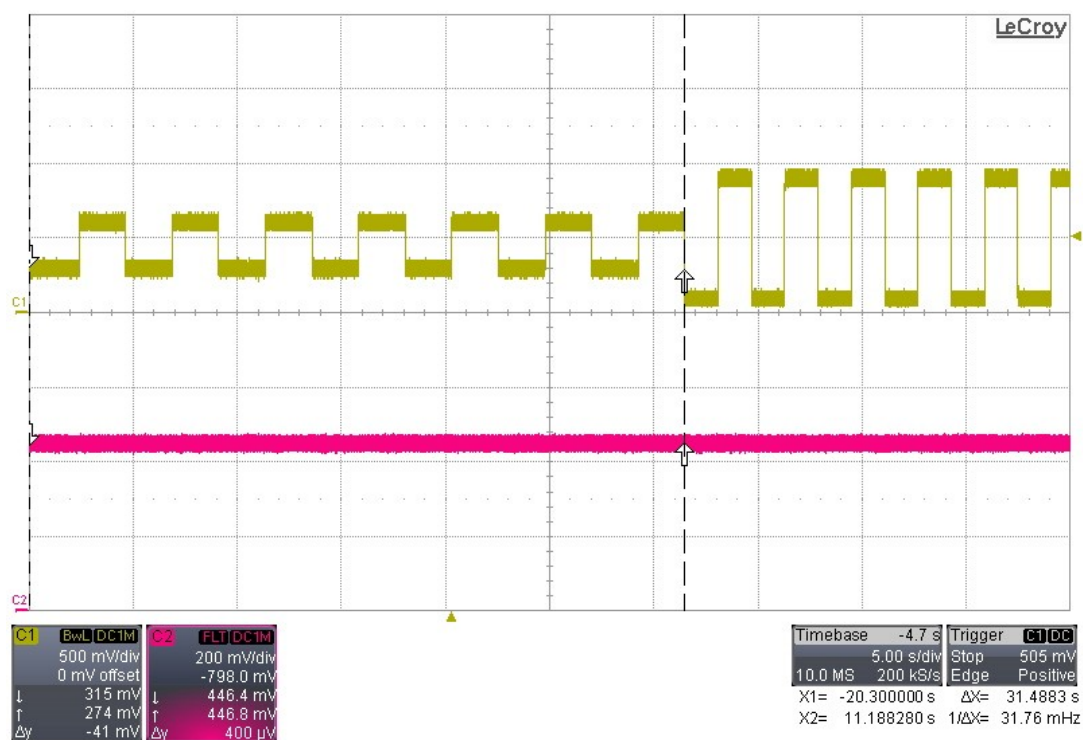
Obr. 45 Měření napětí prvního výstupu
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



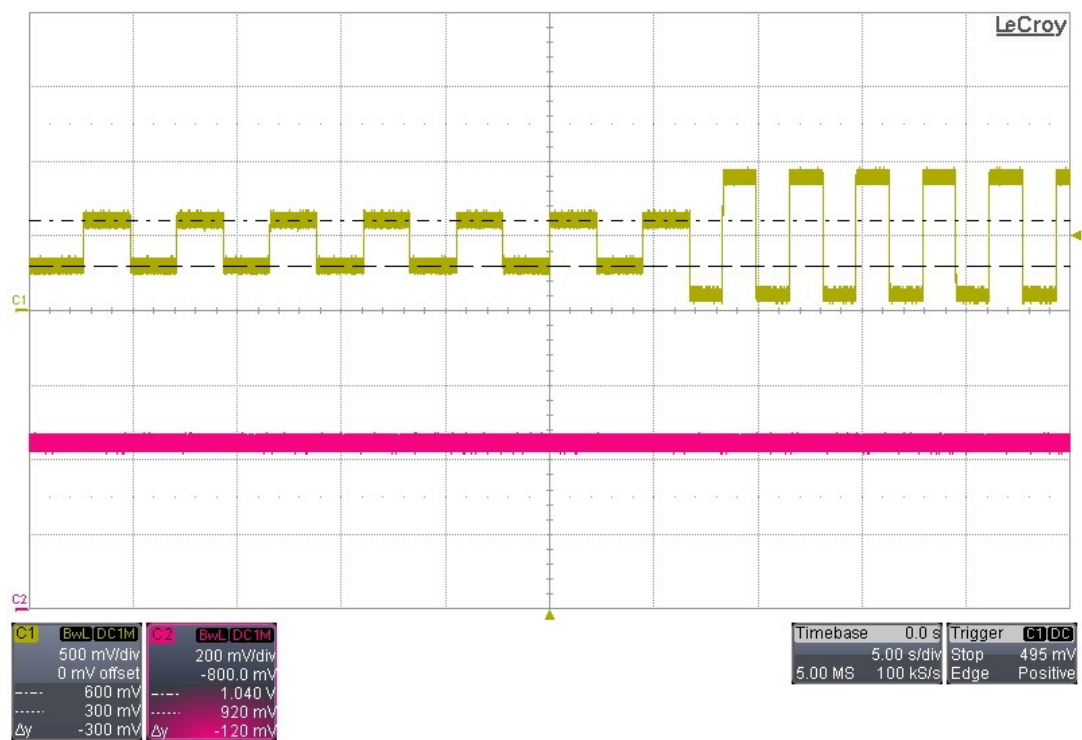
Obr. 46 Měření napětí druhého výstupu
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)

6.3 Simulace startu

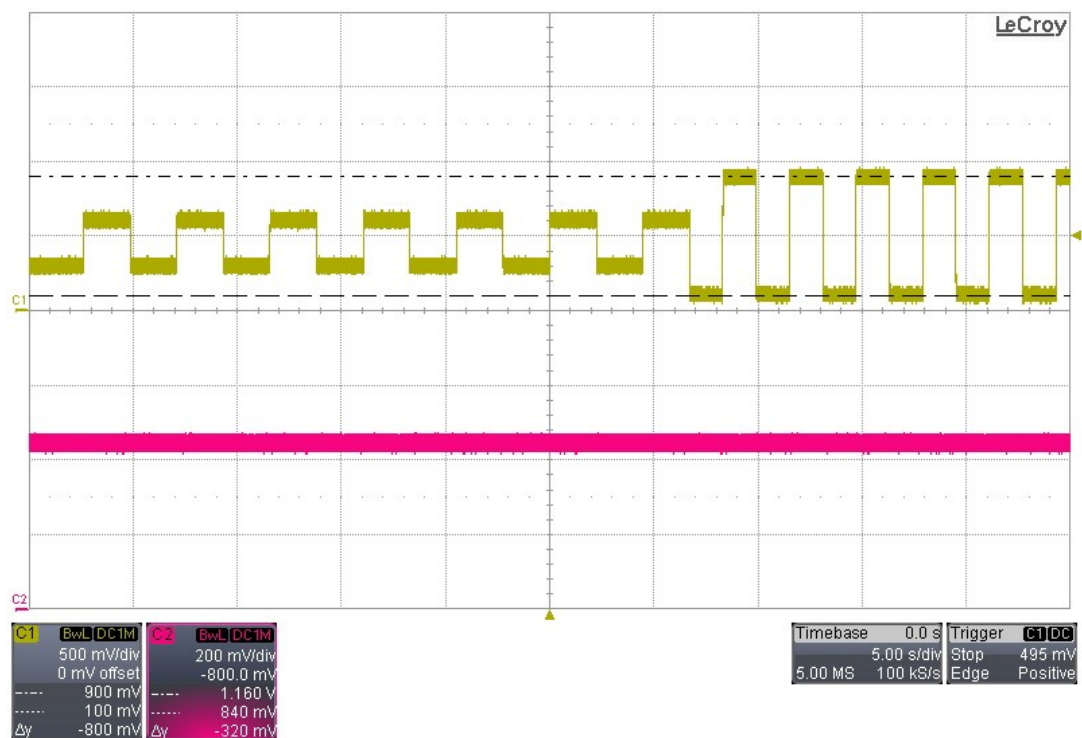
Tento režimu má již také předem nastaveny hodnoty, takže stačí naměřit správnou funkčnost simulátoru. První výstup bude opět simulovat sondu před katalyzátorem, kde bude nejprve malá úroveň napětí, to znamená, že pro chudou směs bude napětí 300 mV a pro bohatou 600 mV. Tyto úrovně potvrzují přibližně 30 s a poté by mělo dojít k plné funkci sondy, takže napětí by mělo být 100 a 900 mV s časy 0,5 s a střídou 1:1.



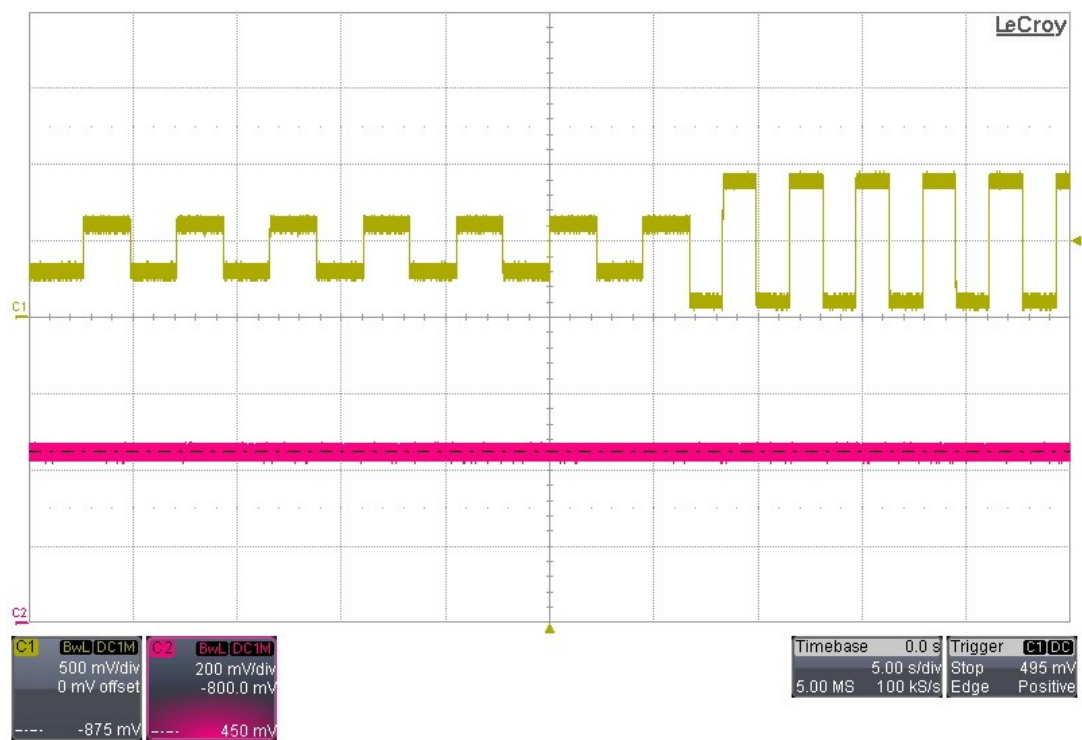
Obr. 47 Simulace náběhu sondy
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



Obr. 48 Měření napětí studené sondy
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



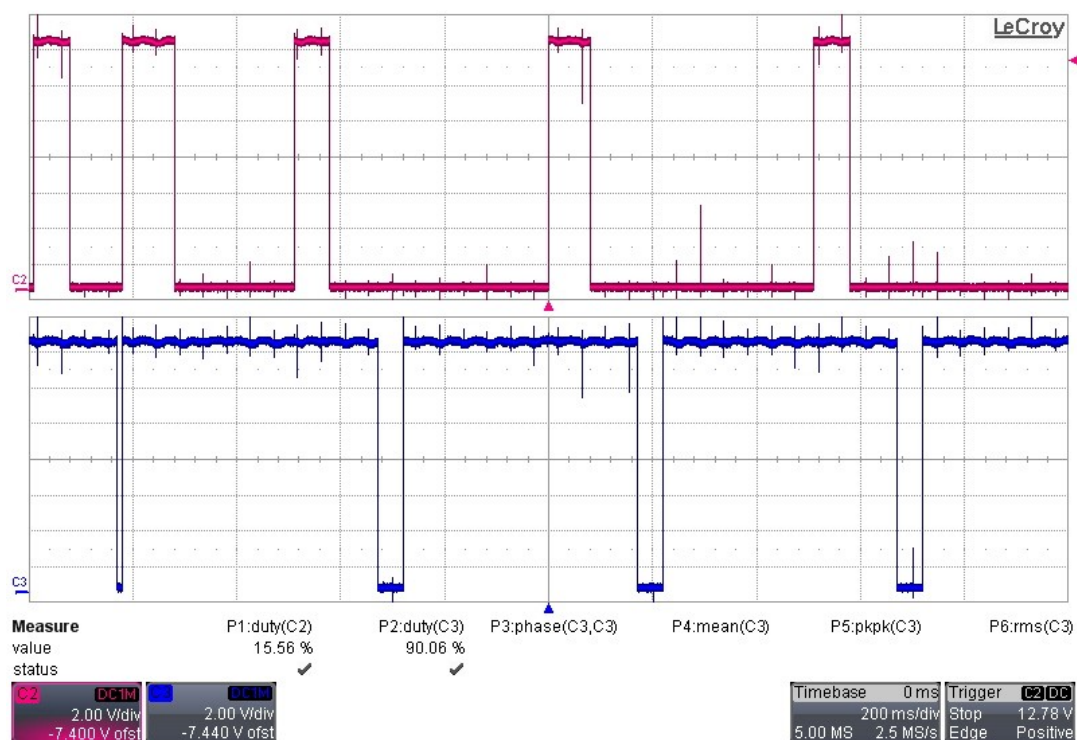
Obr. 49 Měření napětí plně funkční sondy
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)



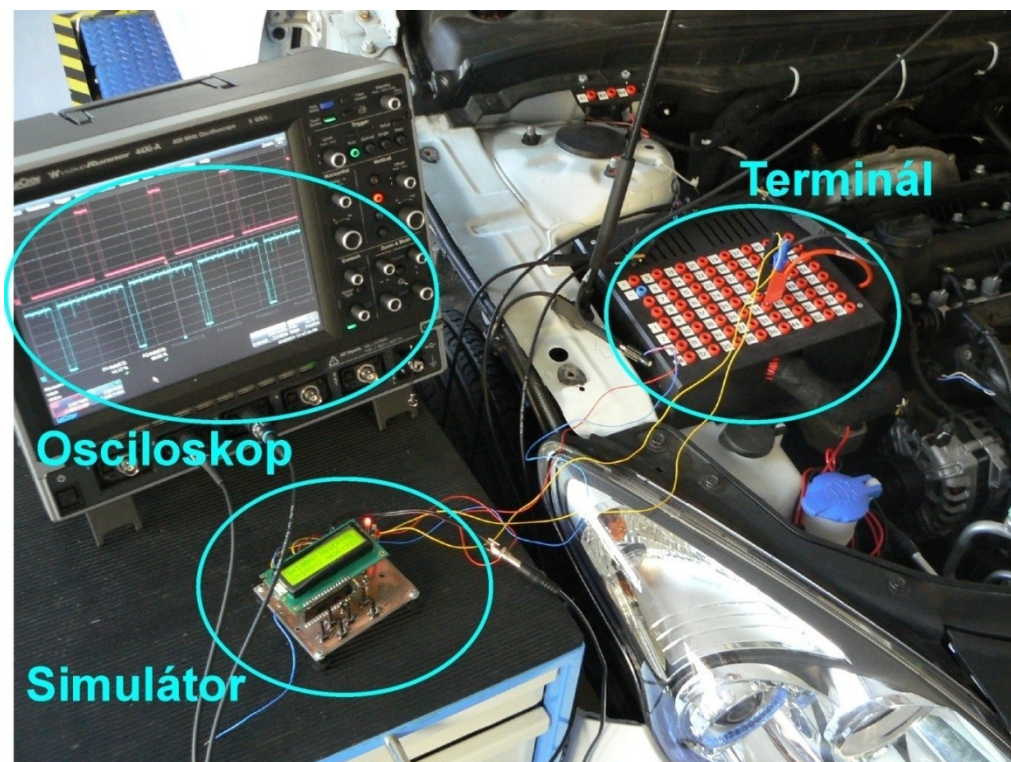
Obr. 50 Měření napětí sondy za katalyzátorem
(C1 – průběh napětí výstupu 1; C2 – průběh napětí výstupu 2)

6.4 Měření vyhřívání

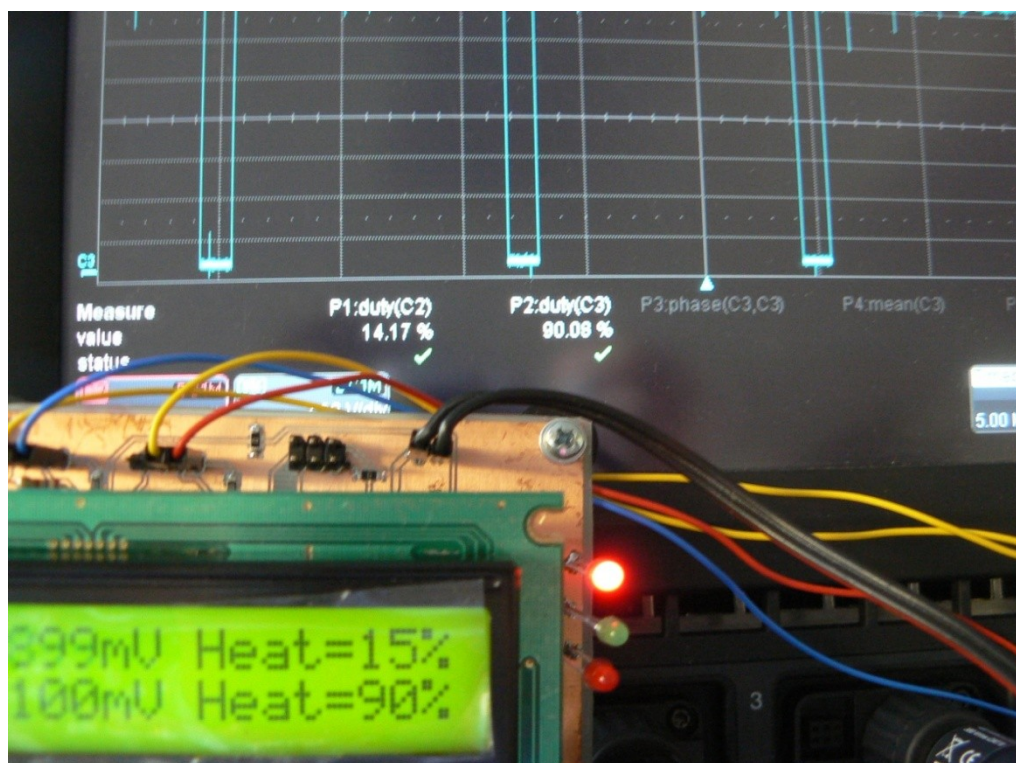
K ověření tohoto režimu je nutno zařízení připojit k vozidlu, k tomu nám velmi dobře poslouží dříve vytvořený terminál s výstupy vybraných čidel vozidla. Jelikož terminál byl vytvořen tak, že signály z čidel jsou vyvedeny na jednotlivé svorky terminálu a pro společnou zem se využívá záporný pól baterie. Nyní tedy připojíme mínus z baterie na jeden pin pro měření vyhřívání u obou výstupů a na druhý pin připojíme z terminálu svorku 33 a 34. Na polaritu není třeba dbát, jelikož jsou vstupy pro vyhřívání galvanicky odděleny optočlenem s antiparalelními diodami.



Obr. 51 Průběh vyhřívání lambda sond (červená - před; modrá - za)



Obr. 52 Připojení zařízení k vozidlu



Obr. 53 Porovnání měření osciloskopem a simulátorem

7 Závěr

Hlavním bodem práce bylo rozebrat snímače pro měření obsahu spalín, které se v dnešní době vyskytují ve vozidlech. Sepsáním této práce jsem si osvojil celou řadu informací o těchto snímačích a to jak pracují, kde se využívají, důvody jejich nasazení a jak řídicí jednotka motoru zachází s jejich hodnotami. Také jsem se dozvěděl podrobnější informace o novějších, širokopásmových sondách, které vyžadují pro svou správnou funkci externí elektronické obvody, čehož jsem si dříve nebyl vědom.

Veškeré dosažené vědomosti jsem vhodně využil při návrhu simulátoru dvoubodové lambda sondy, který je chopen nasimulovat jak její správnou funkčnost, tak její chybové stavy. Vývoj simulátoru z počátku doprovázel nezdar v návrhu výstupního filtru, který převádí signál z mikroprocesoru na stejnosměrné napětí. Prvním plánem bylo využití aktivního filtru, který však na výstup při nízkých napětích do 400 mV přenášel i vstupní signál, tedy nefiltroval s požadovanou účinností. Proto byl následně použit pasivní filtr, který svými vlastnostmi a malými nároky na stavbu, dostatečně vyhovoval této aplikaci. I přes prvotní nezdary je simulátor plně funkční. Důvodem, proč jsem zvolil k řízení obvodu mikroprocesor, byla možnost simulovat různé provozní stavy sondy, jako je například její náběh na pracovní teplotu, nebo akcelerace vozidla. Získané poznatky jsem nakonec s využitím mnou vytvořeného simulátoru podrobil různým měřením, čímž jsem si také ověřil jejich správnost.

Závěrem bych chtěl dodat, že realizovaný simulátor je možno využít, nebo rozšířit o obvody, pomocí kterých se dá vytvořit také simulátor širokopásmové sondy.

8 Použitá literatura

- [1] Autoelektrika.cz [online]. [cit. 2011-03-15]. Lambda sondy. Dostupné z WWW: <<http://www.autoelektrika.cz/clanky-38/Lambda-sondy-.aspx>>.
- [2] Bosch-lambdasonde.de [online]. 2010 [cit. 2011-03-15]. Bosch lambda sensors. Dostupné z WWW: <<http://www.bosch-lambdasonde.de/en/index.htm>>.
- [3] Europeancarweb.com [online]. Červenec 2004 [cit. 2011-03-15]. A History of the Oxygen Sensor Dostupné z WWW: <http://www.europeancarweb.com/editorial/epcp_0407_history_of_the_oxygen_sensor/index.html>.
- [4] Lambda Sensor Catalogue, 2008 [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW: <www.ngkntk.co.uk/working/FileLib/Lambda%20Catalogue.pdf>.
- [5] Ngk.de [online]. 2010 [cit. 2011-03-15]. Lambda sensors. Dostupné z WWW: <<http://www.ngk.de/en/technology-in-detail/lambda-sensors/>>.
- [6] Service Tech Magazine/May 2001 2010 [cit. 2011-03-15]. Oxygen sensors.
- [7] RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3.

9 Přílohy

- A. Schéma zapojení řídicí části
- B. Schéma zapojení úpravy signálu
- C. Osazovací plán
- D. Seznam součástek
- E. Simulátor
- F. Laboratorní úloha